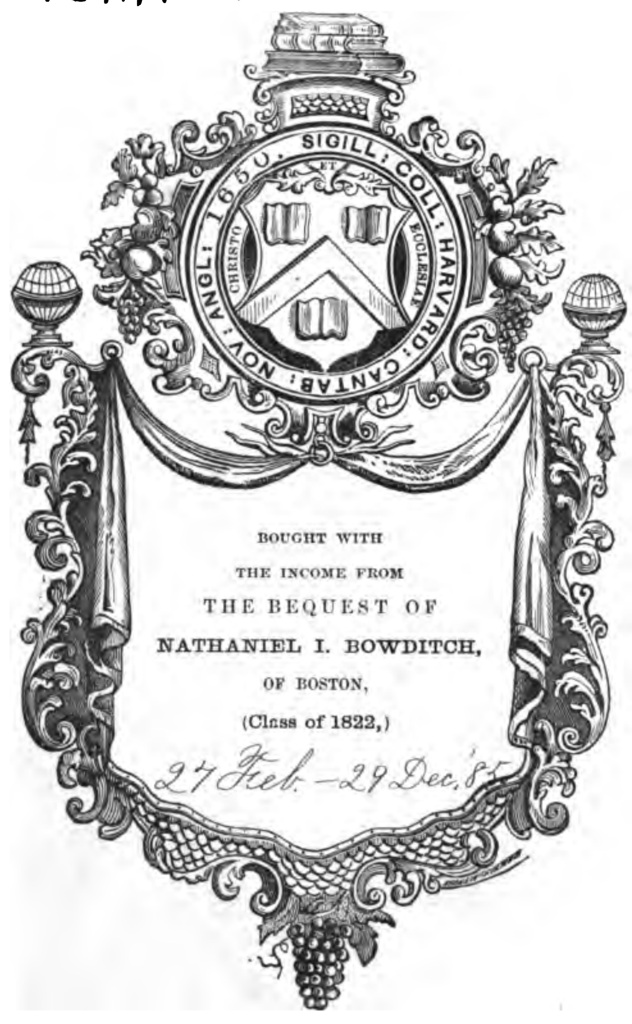
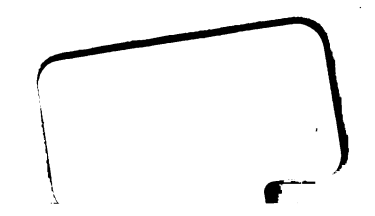





SIGILL: COLL: HARVARD: CANTAB: NOV: ANGL: 1650.
CHRISTO ET ECCLESIAE
BOUGHT WITH
THE INCOME FROM
THE BEQUEST OF
NATHANIEL I. BOWDITCH,
OF BOSTON,
(Class of 1822,)
27 Feb. – 29 Dec. '85



Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

VI. 1.

Handbuch

der

chemischen Technologie.

In Verbindung
mit
mehren Gelehrten und Technikern bearbeitet
und herausgegeben
von

Dr. P. A. Bolley,
weil. Professor der technischen Chemie am Schweizerischen Polytechnikum in Zürich.

Nach dem Tode des Herausgebers fortgesetzt
von

Dr. K. Birnbaum,
Hofrath und Professor der Chemie an der polytechnischen Schule zu Karlsruhe.

Acht Bände,
die meisten in mehre Gruppen zerfallend.

Sechsten Bandes erste Gruppe:

Die chemische Technologie der Baumaterialien und Wohnungseinrichtungen.

Zweite Abtheilung:

Chemische Technologie der Mörtelmaterialien.

Mit zahlreichen eingedruckten Holzstichen.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1885.

6/4-52
27

Die chemische Technologie der Mörtelmaterialien.

Von

Dr. G. Feichtinger,

Georg

Professor an der Königl. Industrieschule in München.

Mit 139 eingedruckten Holzstichen.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1885.

Vorwort.

Bei Bearbeitung des vorliegenden Werkes, als eines Theiles von „Bolley's Handbuch der chemischen Technologie", war ich bemüht, ein getreues Bild der heutigen Mörtelindustrie zu liefern und demgemäß umfaßt dasselbe nicht nur die chemische Technologie des Luft-, Wasser- und Gyps-Mörtels, sondern es wurden auch andere damit verwandte Industriezweige, wie die Fabrikation künstlicher Steine, Stereochromie &c. entsprechend berücksichtigt.

Mit möglichst größter Vollständigkeit ist der Abschnitt Portlandcement bearbeitet worden, weil derselbe mehr und mehr eine größere Bedeutung im Bauwesen gewinnt, in Folge dessen seine Fabrikation und seine Verwendung von Tag zu Tag zunimmt und weil der Portlandcement in der neuesten Zeit viel häufiger als die anderen Mörtelmaterialien Gegenstand eingehender wissenschaftlicher und technischer Untersuchung war.

Bei der Darstellung ist folgender Gang eingehalten: Zunächst wird bei jedem einzelnen Mörtel das Rohmaterial, sein Vorkommen in der Natur, seine Zusammensetzung und technische Prüfung angegeben, daran reiht sich eine Schilderung der technischen Verarbeitung, der dabei verlaufenden mechanischen und chemischen Processe, der Zusammensetzung, Eigenschaften und Prüfung des fertigen Productes, der Anwendung und der Processe bei der Erhärtung.

Ueberall wurde die betreffende Literatur möglichst vollständig und genau angegeben, auch will ich nicht unerwähnt lassen, daß beim Abschnitte Port-

landcement alle in den jährlichen Generalversammlungen des Vereins deutscher Cementfabrikanten besprochenen wichtigen Fragen gebührend berücksichtigt wurden.

Viele in dem Werke enthaltenen Angaben und Zeichnungen sind mir direct von in der Praxis stehenden Männern zugekommen, daher ich es nicht unterlasse, denselben hier meinen Dank auszusprechen.

München, im September 1884.

G. Feichtinger.

Inhaltsverzeichniß.

I. Kalk.

II. Mörtel.

III. Gyps.

IV. Künstliche Steine.

V. Stereochromie, Mineralmalerei und Sgraffito.

Nachträge.

I.

Kalk.

(Calciumoxyd, CaO; Kalkerde, Aetzkalk, gebrannter Kalk.)

1. Vorkommen.

Die Kalkerde kommt nie rein in der Natur vor, dagegen sind Kalksalze in allen drei Naturreichen sehr verbreitet. Im Mineralreiche ist das verbreitetste Kalksalz das in verschiedenen Formen auftretende Calciumcarbonat, dann folgt das unter dem Namen Gyps bekannte Calciumsulfat, ferner das Calciumphosphat (Phosphorit, Apatit) und das einen Bestandtheil vieler Doppelsilicate ausmachende Calciumsilicat. Calciumcarbonat und Calciumsulfat sind auch häufig Bestandtheile des Fluß- und Quellwassers. Calciumsalze fehlen auch fast nie in den Organen der Pflanzen und wir finden daher in den Aschen der meisten Pflanzen Calciumcarbonat, Calciumphosphat und Calciumsulfat. Im Thierreiche ist Calciumcarbonat ein vorwiegender Bestandtheil der Perlen, Korallen, Eierschalen, Austern- und Muschelschalen; Calciumcarbonat und Calciumphosphat enthalten die Knochen, die festen Excremente mancher Thiere u. s. w.

Die Kalkerde wird fast ausschließlich durch Brennen des im Mineralreiche mehr oder weniger rein vorkommenden Calciumcarbonats gewonnen. Nur in vereinzelten Fällen werden hierzu auch Muschel- und Austernschalen verwendet.

Das Calciumcarbonat findet sich im Mineralreiche theils krystallisirt (Kalkspath und Arragonit), theils krystallinisch (Marmor), theils derb (Kalkstein) oder erdig (Kreide).

Kalkspath, meist in Rhomboëdern, und Arragonit, in rhombischen Säulen krystallisirend, sind reines Calciumcarbonat, sind aber für die technische Gewinnung von Kalk von keiner Bedeutung, da dieselben nur sehr sparsam vorkommen; in chemischen Laboratorien wird wohl öfters der Kalkspath zur Darstellung von reinem Aetzkalke verwendet. Vom weißen Marmor, körnig krystallinischer Urkalk, das werthvollste Material für die Zwecke der Bildhauerei und Baukunst, finden hier und da die bei seiner Verarbeitung erhaltenen Abfälle

technische Verwendung, dagegen bildet der gefärbte Urkalk in manchen Gegenden das Material zum Kalkbrennen.

Viel häufiger dienen zur technischen Gewinnung von Kalk die dichten Kalksteine; dieselben kommen in allen sedimentären Formationen und oft in mächtigen Massen vor, sind sehr verbreitet und reichlich und billig zu gewinnen. Die dichten Kalksteine sind außerordentlich verschieden nach Farbe, Structur, Zusammensetzung, Alter u. s. w. Die Geognosten unterscheiden namentlich nach dem Alter der Formation, in welcher sie angetroffen werden, davon zahlreiche Arten. Wir beschränken uns hier auf eine kurze Angabe derselben und verweisen zur näheren Information auf die Lehrbücher der Geognosie. Man unterscheidet, von der ältesten Formation beginnend, ihrem Alter nach im Allgemeinen:

Uebergangskalk (Grauwackenkalk), die älteste geschichtete Bildung, nennt man den Kalkstein des Uebergangsgebirges; derselbe enthält schon Versteinerungen und ist auch häufig von Kalkspathadern durchzogen; derselbe ist von mehr muscheligem als splitterigem Bruche, einfarbig und auch mehrfarbig. Die meisten unter dem Namen Marmor bekannten politurfähigen Kalksteine gehören zum Uebergangskalk.

Bergkalk (Kohlenkalk), gehört der Kohlenformation an, ist meist dunkelgrau und reich an Petrefacten; er findet sich in den Steinkohlengebieten.

Der Zechstein, der Zechsteinformation angehörend, kommt mit dem Kupferschiefer, einem schwarzen kupferhaltigen Mergel vor, und ist ein thoniger Kalkstein von grauer, gelblicher oder schwärzlicher Färbung.

Muschelkalk, der Triasformation angehörend, ist die zwischen dem bunten Sandstein und dem Keuper liegende Kalksteinschicht und charakterisirt sich durch zahlreiche, thierische Versteinerungen; er ist von grauer, brauner und gelber Farbe und sehr häufig thonhaltig, daher auch oft zu Wassermörtel benutzt. Abarten davon sind der Wellenkalk (wegen der wellenförmigen runzligen Oberfläche so genannt), der Terebratulakalk, Enkrinitenkalk u. s. w.

Dem Jura gehören der Lias-, Jura- und Oolithkalk an. Der Liaskalk, die unmittelbar auf dem oberen Keuper aufgelagerte Schicht, hat meistens dunkelgraue, ins Braune und Schwärzliche gehende Farbe, enthält häufig Bitumen und Thon und ist reich an Versteinerungen. Der Jurakalk des oberen weißen Jura ist von stets heller Farbe, weiß, graulich, gelblich oder röthlichweiß. Derselbe kommt bald dicht, bald rogenartig oder oolithisch vor; letzterer führt den Namen Oolith oder Rogenstein und besteht aus sehr feinen kugelförmigen, zusammengebackenen Körnern, die Aehnlichkeit mit dem Rogen der Fische haben; die Körner sind gewöhnlich durch ein kalkartiges Bindemittel zu einer Steinmasse verbunden. Ausgezeichnet ist der Jurakalk durch das Vorkommen der großen Anzahl von Versteinerungen. Dünnschichtige Gesteine bilden den Plattenkalk; hierher gehört auch der durch seine technische Verwendung berühmte lithographische Stein, welcher in den Steinbrüchen von Solenhofen zwischen Eichstätt und Pappenheim (Bayern) gewonnen wird und als Solenhofener Steine oder Platten in den Handel kommen.

Alpenkalk; damit bezeichnet man die sedimentären Kalksteine der Alpen, welche der Trias-, Jura- und Kreideformation angehören und mit verschiedenen

Namen belegt wurden. Derselbe wird als Steinkalk unmittelbar aus dem Bruche oder als Lesekalk in den Flüssen gewonnen.

Kreide, ausschließlich der gleichnamigen Formation angehörend, ist erdiges Calciumcarbonat von feinerdiger, meist lockerer Structur und deshalb abfärbend; dieselbe ist oft von rein weißer Farbe und enthält im reinen Zustande nur sehr geringe Beimengungen von Magnesia, Eisenoxyd und Thon; man findet dieselbe aber auch mergelig (mit mehr Thon) und oft auch mit mehr oder weniger feinkörnigem Quarzsande vermischt; auch kommen in der Kreide oft nester- und lagenweise Feuersteinknollen vor. Die Kreide besteht fast durchgehends aus den mikroskopisch kleinen Schalen von Meeresthierchen (Foraminiferen 2c.), wie die Untersuchungen Ehrenberg's ergeben haben, und bildet im Norden Europas (England, Irland, Frankreich, Dänemark 2c.) ganze Felsenmassen, wird in diesen Ländern zu Kalk gebrannt und auch zur Fabrikation von Portlandcement benutzt. In einigen Gegenden tritt die Kreide verhärtet auf als Kreidekalk oder Plänerkalk (Sachsen, Schlesien, Böhmen); sie enthält dann immer Thon, ist lichtgrau, von ziemlich ausgeprägter Schichtung und in Folge dessen sehr spaltbar.

An die Kreide schließt sich der der Tertiärperiode angehörende Grobkalk an, welcher besonders mächtig im Pariser Becken auftritt; häufig ist derselbe aber sehr stark mit Quarzsand vermischt und wird daher mehr als Sand- wie als Kalkstein angewendet.

Dem Diluvium und Alluvium gehören die Süßwasserkalke an, welche ihre Entstehung kalkhaltigen Quellen, Flüssen oder Seen verdanken und welche sich noch heute an vielen Orten bilden; hierher zählen die Kalktuffe (Kalksinter), Tropfsteine, Erbsensteine 2c., dann der als Unterlage der Wiesenmoore sich in norddeutschen Tiefebenen vorfindende Wiesenkalk; letzterer, ein loses Gemenge von Calciumcarbonat mit organischer Substanz, wird entweder wie Torf gestochen und die Stücke nach dem Trocknen gebrannt oder, was häufiger der Fall ist, man läßt den Wiesenkalk durch Thonschneider gehen und giebt ihm Ziegelform. Der Wiesenkalk bedarf zuweilen zum Brennen nur wenig Brennmaterial.

2. Eigenschaften der Kalksteine.

Die Kalksteine, wie sie zur Darstellung von gebranntem Kalk verwendet werden, sind niemals reines Calciumcarbonat, sondern enthalten immer mehr oder weniger Beimengungen, wodurch ihre oft sehr verschiedene Farbe, Structur, Härte, Schwere und chemische Zusammensetzung bedingt ist. Die gewöhnlichen Beimengungen sind: Magnesiumcarbonat, Eisenoxyd, Manganoxyd, Thonerde, Kieselerde in verschiedenem Zustande (löslich, unlöslich, als Sand), Thon, Wasser, organische Substanz (Kohle, Bitumen); seltener kommen vor: Schwefelkies, Calciumphosphat und Salze der Alkalien.

Die Farbe der Kalksteine ist daher niemals rein weiß wie bei Marmor, sondern schmutzigweiß oder grau in allen Abstufungen, auch gelb, blau, braun 2c., sehr häufig auch bunt, gefleckt, flammig 2c. Sehr häufig ist die Färbung der

grauen und blauen Kalksteine nur von einem Gehalt an organischer Substanz (Kohle, Bitumen) herrührend; tritt dieselbe in größerer Menge auf, so nennt man die Kalksteine bituminös; enthalten dieselben soviel davon, daß sie beim Reiben oder Zerschlagen einen eigenthümlichen, unangenehmen Geruch entwickeln, so bezeichnet man sie als Stinkkalk oder Stinkstein. Da die organische Substanz beim Brennen der Kalksteine verbrennt, so ist dieselbe, wenn sie auch in großen Mengen vorhanden ist, von keinem Nachtheile. Bei manchen blauen Jurakalksteinen rührt die Farbe auch von einem Gehalte an Schwefelkies her (A. Müller).

Die übrigen in den Kalksteinen vorkommenden fremden Beimengungen wirken, wenn sie nur wenig, einige Procente, betragen, nicht schädlich, sie vermindern nur verhältnißmäßig den Procentgehalt des gebrannten Kalkes an wirklichem Aetzkalk. Treten diese Verunreinigungen aber in größerer Menge auf, so erwächst daraus ein erheblicher Nachtheil für die Bereitung von Luftmörtel; dieses gilt namentlich für einen größeren Gehalt an Magnesiumcarbonat, Kieselerde und Thon und zum Theil auch an Eisenverbindungen.

Das Magnesiumcarbonat fehlt in den natürlichen Kalksteinen fast nie, ein Gehalt von 10 Proc. macht den daraus gebrannten Kalk schon merklich mager, und bei einem höheren Gehalte daran verliert der Kalk auch die Eigenschaft, sich nach dem Brennen zu löschen. Einen solchen Kalkstein nennt man dolomitischen Kalkstein, weil man Gesteine, welche aus 46 Proc. Magnesiumcarbonat und 54 Proc. Calciumcarbonat zusammengesetzt sind, als Dolomite bezeichnet. Bei einem größeren Gehalte an Magnesiumcarbonat besitzen die Kalksteine ein krystallinisches Gefüge, erhöhtes specifisches Gewicht und größere Härte.

Auch thonige und kieselige Beimengungen fehlen in nur wenigen Kalksteinen, die Menge derselben wechselt ungemein und geht von Spuren bis zum Ueberwiegen des Thons. Beträgt die Menge derselben bis zu 10 Proc. und darüber, so bezeichnet man einen solchen Kalkstein als thonigen Kalkstein oder Mergel und zwar solchen mit noch vorherrschendem Kalkgehalte als Kalkmergel und solchen mit vorherrschendem Thongehalte als Thonmergel. Mit der Zunahme des Thongehaltes vermindert sich die Härte, die Festigkeit und das specifische Gewicht des Kalksteins, derselbe nimmt erdiges Ansehen an und entwickelt beim Anhauchen Thongeruch. Thon und Kieselerde wirken unter Umständen viel schädlicher als Magnesiumcarbonat, wenn sie nämlich in größerer Menge vorkommend mehr oder weniger gleichmäßig durch die ganze Masse des Kalksteins vertheilt sind; dieselben geben dann beim Brennen, wenn die Hitze zu stark ist, Veranlassung, daß der Kalkstein sintert und sich nachher nicht mehr mit Wasser löscht, also todtgebrannt ist. Solcher Kalkstein kann aber zur Herstellung von hydraulischem Mörtel oder Cement dienen (s. Cement).

Bei einem größeren Gehalt der Kalksteine an Eisenoxyd fällt der gebrannte Kalk gelb aus und eignet sich dann weniger zum Weißen, zum Abputzen der Wände.

In einigen an der Meeresküste gelegenen Gegenden, wie in Holland, wo Kalksteine nicht vorkommen, werden auch Austernschalen und Muschelschalen zum Kalkbrennen benutzt; dieselben bestehen wesentlich aus Calciumcarbonat, wie aus nachstehenden Analysen zu ersehen ist:

	Holländische Muschelschalen, in Holland zum Kalkbrennen verwendet.		Englische Austernschalen.
	J. P. de Vordes u. J. W. Gunning		Phipson
Calciumcarbonat	97,36	97,10	92,93
Magnesiumcarbonat	0,53	0,10	0,13
Calciumsulfat	0,31	0,45	0,34
Eisenoxyd und Thonerde	0,13	0,56	0,41
Chlornatrium	0,05	0,23	0,12[1])
Kali und Natron	0,21	0,67	Spuren
Kieselerde, lösliche	0,11	0,56	0,53
„ unlösliche (Sand)	0,76	0,79	4,44[2])
	99,46	100,46[4])	1,10[3])

3. Untersuchung der Kalksteine.

Wie vorhin bemerkt, enthalten die in der Natur vorkommenden Kalksteine verschiedene Stoffe und in sehr wechselnden Verhältnissen beigemengt. Im Bauwesen werden die Kalksteine entweder zu Bausteinen und Kunsterzeugnissen oder zu Luft- und Wassermörtel verwendet. Bei der Beurtheilung der Brauchbarkeit eines Kalksteins zu Baustein erstreckt sich die Untersuchung auf Festigkeit, Härte, Farbe, Wetterbeständigkeit, Politurfähigkeit. Ob aber ein Kalkstein sich eignet zum Kalkbrennen, hängt dagegen von seiner chemischen Zusammensetzung ab, worüber die chemische Analyse die sicherste Auskunft ertheilt. Hierbei ist es nicht immer nothwendig, alle Nebenbestandtheile des Kalksteins quantitativ zu bestimmen, sondern es genügt, durch die Analyse zu erfahren, ob und in welcher Menge ein Kalkstein von denjenigen Stoffen enthält, welche seine Güte und Verwendbarkeit zu Luftmörtel wesentlich beeinträchtigen. Um dieses zu ermitteln, übergießt man 2 bis 3 g des fein zerriebenen Kalksteins in einem Becherglase zuerst mit etwas Wasser und dann so lange mit Salzsäure, als noch ein Aufbrausen bemerkbar ist; je weniger hierbei ungelöst bleibt, desto weniger Thon und Kieselsäure enthält der Kalkstein; will man den in Salzsäure unlöslichen Antheil der Menge nach bestimmen, so wird derselbe auf einem Filter gesammelt, ausgewaschen, getrocknet, geglüht und gewogen. Das von dem Ungelösten getrennte Filtrat wird dann unter Zugabe von etwas Salpetersäure erwärmt, um vorhandenes Eisenchlorür in Eisenchlorid umzuwandeln, dann Chlorammonium und endlich Ammoniakflüssigkeit bis zur schwach alkalischen Reaction zugesetzt; den entstandenen Niederschlag von

[1]) Calciumphosphat. [2]) Organische Substanz. [3]) Wasser.

[4]) In diesen zur Analyse benutzten Proben ist die organische Substanz wahrscheinlich schon zerstört gewesen.

Eisenoxydhydrat und Thonerdehydrat (meistens enthält er auch ein wenig Kieselsäure) sammelt man rasch auf einem Filter, wäscht ihn rasch aus, trocknet, glüht und wägt ihn. Die Menge beider ist immer gering und eine Trennung nicht nothwendig; die Farbe des feuchten Niederschlages läßt schon einen Schluß auf das Verhältniß zu; je heller derselbe, desto mehr Thonerde ist vorhanden. Aus der vom Eisenoxydhydrat und Thonerdehydrat abgeflossenen ammoniakalischen Lösung wird dann durch Ammoniumoxalat die Kalkerde vollständig gefällt; nach Abfiltriren des Calciumoxalates setzt man zum Filtrat Natriumphosphat und noch reichlich Aetzammoniakflüssigkeit, um die Magnesia zu fällen und läßt die Flüssigkeit mindestens 12 Stunden stehen; je weniger der entstandene Niederschlag beträgt, desto geringer ist der Gehalt des Kalksteins an Magnesiumcarbonat. Soll die Menge desselben bestimmt werden, so bringt man den Niederschlag auf ein Filter, wäscht ihn mit einem Gemisch von Wasser und Aetzammoniakflüssigkeit aus, trocknet, glüht und wägt ihn; der Glührückstand ist Magnesiumpyrophosphat; 100 Gewthle. desselben entsprechen 75,6 Magnesiumcarbonat.

Will man ein vollständiges klares Bild der chemischen Zusammensetzung eines Kalksteins gewinnen, so ist eine vollständige quantitative chemische Analyse nothwendig; wie dieselbe auszuführen ist, wird im Capitel „Cement“ bei der Untersuchung der Mergel angegeben, worauf wir verweisen.

Die Brauchbarkeit eines Kalksteins zum Kalkbrennen kann man auch durch einen empirischen Versuch, Brennen mit darauf folgendem Löschen des gebrannten Kalkes, ermitteln. Zu diesem Zwecke glüht man mehrere kleine Stücke des Kalksteins in einem hessischen Tiegel ungefähr eine Stunde lang bei Weißglühhitze und löscht dann die Kalksteinstückchen mit dem drei- bis vierfachen Volumen Wasser; an dem dabei stattfindenden Gedeihen, der Hitzeentwickelung und Breibildung erkennt man dann seine größere oder mindere Brauchbarkeit; je vollständiger sich der gebrannte Kalk zu einem zarten, weißen, möglichst wenig fühlbare gröbere Theile enthaltenden Brei löscht, desto besser ist derselbe. Diese Probe giebt selbstverständlich nur dann einen sicheren Anhaltspunkt, wenn die Kalkstücke auch gar gebrannt sind, d. h. alle Kohlensäure verloren haben, wovon man sich leicht überzeugen kann, indem man dieselben nach dem Löschen mit verdünnter Salzsäure übergießt, wobei kein Aufbrausen erfolgen darf.

Von Dr. Michaëlis ist ein Mörtelvolumeter zur Prüfung der Ausgiebigkeit (des Gedeihens) des Kalkes construirt worden[1]). Mittelst Ligroïns ermittelt man in diesem Apparate, Fig. 1, zunächst das Volumen von 50 oder 100 g des gebrannten Kalkes; alsdann löscht man 50 g Kalk mit 200 bis 300 ccm Wasser in der mit einem Uhrglase bedeckten Dose auf einem Wasserbade und erhält so lange auf demselben, bis der von Zeit zu Zeit durch Aufsetzen der Dose zusammengerüttelte Brei Schwindungsrisse zeigt. Man läßt abkühlen, setzt den Apparat zusammen und füllt mittelst der demselben beigegebenen Pipetten bis in die Meßröhre mit Wasser auf. Durch einfache Ablesung wird dann, unter Berücksichtigung der Capacität der Dose, bis zur unteren Marke der Meßröhre 400 ccm, das Volumen des gebildeten Kalkbreies erhalten.

---

[1]) Deutsche Töpfer- und Zieglerzeitung 10, 101.

Die Ausgiebigkeit des Kalkes wird demnach gemessen durch den Vergleich des Volumens des gebrannten Kalkes mit demjenigen Volumen, welches der daraus hervorgegangene steife Kalkbrei einnimmt. Dabei kann offenbar nur das wahre Volumen des gebrannten Kalkes verstanden sein, also beispielsweise des Cubikmeters, Decimeters, eines Liters ꝛc., nicht aber ein eingemessener Cubikmeter oder Hectoliter resp. Liter, da es ja nicht angeht, ein Maß mit Hohlräumen mit einem solchen ohne Hohlräume vergleichen zu wollen.

Fig. 1.



Um die Ausgiebigkeit zutreffend bei verschiedenen Kalksorten vergleichen zu können, wäre ein Maßstab für die Steifigkeit des Breies erforderlich; derselbe fehlt zur Zeit noch, die Beurtheilung dieser Grenze ist sehr empirisch, indem man den Eintritt der Risse dafür nur in Betracht zieht.

Der Apparat von **Michaëlis** kann auch benutzt werden, um die Porosität des gebrannten Kalkes zu bestimmen, wenn man statt Wasser mit Benzin von bekanntem specifischem Gewichte operirt.

4. Kalkbrennen.

Der Aetzkal wird ausschließlich durch starkes Erhitzen der in der Natur sich findenden Kalksteine (seltener Muschel- und Austernschalen) gewonnen, welchen Proceß man das **Kalkbrennen** nennt. Es ist daher für die Praxis von Wichtigkeit zu wissen, wie sich sowohl das reine Calciumcarbonat wie auch die Kalksteine, wenn sie mehr oder weniger fremde Beimengungen enthalten, in der Glühhitze verhalten.

Nach **Erdmann** und **Marchand**[1]) beginnt das Calciumcarbonat schon bei 400° C. Kohlensäure abzugeben, was von **Rose**[2]) bestätigt wurde. Zur voll-

[1]) Journ. pr. Chem. 50, 237.

[2]) Rose, Chem. Centralbl. 1863, S. 695.

ständigen Austreibung der Kohlensäure ist aber eine helle Rothglühhitze erforderlich; jedoch ist die Temperatur hierbei keine ganz constante, sondern von verschiedenen Umständen abhängig. Ein sehr poröser Kalkstein brennt sich viel leichter zu Aetzkalk als ein dichter, krystallinischer Marmor. In einem mit Kohlensäure erfüllten Raume, indem man das Calciumcarbonat unter Luftabschluß in einem Gefäße, aus welchem die Kohlensäure nicht entweichen kann, glüht, verliert das Calciumcarbonat selbst bei Anwendung eines sehr hohen Hitzegrades nur wenig Kohlensäure, ja dasselbe schmilzt und erstarrt dann beim Erkalten körnig-krystallinisch (Rose). Erhitzt man das Calciumcarbonat in offenen Gefäßen, so entweicht die Kohlensäure viel schwieriger, wenn der Kalkstein dauernd mit einer Atmosphäre von Kohlensäure umgeben ist, hingegen reicht eine etwas niedrigere Temperatur schon aus, denselben gar zu brennen, wenn beim Glühen die Kohlensäure durch einen Strom von Luft oder Wasserdampf weggeführt wird, wie Gay-Lussac[1]) durch Versuche nachgewiesen hat. Derselbe füllte eine Porcellanröhre mit Marmorstücken und brachte sie in einen Ofen, dessen Temperatur mit Leichtigkeit regulirt werden konnte. An das eine Ende der Röhre wurde eine Retorte angebracht, welche Wasser enthielt, um Dampf zu liefern, und an das andere eine Glasröhre, um die Kohlensäure aufzufangen. Die Temperatur wurde zuerst bis zur Zersetzung des Marmors gesteigert, sodann aber durch genaues Verschließen des Aschenraumes bis zum Dunkelglühen erniedrigt, worauf die Kohlensäure sich zu entbinden aufhörte. In diesem Augenblicke wurde das Wasser in der Retorte zum Sieden gebracht und sofort erschien die Kohlensäure in reichlicher Menge wieder. Sowie die Zuströmung des Dampfes unterbrochen wurde, hörte die Entwickelung der Kohlensäure ebenfalls auf, und sie begann nicht eher wieder, als bis neuer Wasserdampf zugelassen wurde. Gay-Lussac führte ähnliche Versuche mit Luft aus und fand, daß ein Strom von atmosphärischer Luft wie Wasserdampf die Zersetzung des Marmors begünstigt, indem die Zersetzung desselben unter Mitwirkung von Luft bei einer niedrigeren Temperatur erfolgt als die ist, welche für gewöhnlich dazu erfordert wird. Beim Brennen der Kalksteine in den Kalköfen sind die Umstände für das Entweichen der Kohlensäure insofern günstig, indem fortwährend die Feuergase durch den Ofen streichen und die Kohlensäure wegführen. Die Beobachtung von Gay-Lussac hat auch Gastine[2]) und Andere veranlaßt, Kalköfen zu construiren mit Wasserdampfzuführung.

Manche Kalkbrenner wollen gefunden haben, daß erdfeuchte Kalksteine, wie sie unmittelbar aus dem Bruche kommen, sich auffallend leichter brennen, d. h. ihre Kohlensäure schneller abgeben sollen, als bereits längere Zeit an der Luft abgetrocknete. Dieses Verhalten suchte man durch den oben erwähnten Versuch von Gay-Lussac zu erklären, obwohl derselbe sich gegen diese Ansicht ausgesprochen hat. Gay-Lussac sagt hierüber: „Wenn auch der Wasserdampf einen Einfluß beim Brennen des Kalksteins insofern hat, daß man bei Gegenwart von Wasserdampf eine niedrigere Temperatur zur Austreibung der Kohlensäure nöthig hat, so darf man diese Wirkung nicht überschätzen; das Wasser ist nur mechanisch in den Kalksteinen eingeschlossen, und mit Ausnahme einiger kleine-

[1]) Journ. pr. Chem. 11, 244. — [2]) Dingl. pol. J. 154, 258.

ren Antheile im Innern der Stücke, die zu groß sind, als daß die Hitze sie schnell durchdringen und dieselben verjagen könnte; der größte Theil des Wassers verdampft ohne Nutzen und sogar auf Kosten des Brennmaterials, ehe der Kalkstein die zur Zersetzung erforderliche Temperatur erreicht hat.“ Aus den Versuchen von Gay-Lussac ist auch nicht zu ersehen, daß der Wasserdampf mehr wirkt als der Gasstrom, welcher in Folge der Verbrennung die Kalkmasse beständig beim Brennen durchzieht. Auch ist bekannt, daß beim Verbrennen der Brennmaterialien (Coaks ausgenommen), welche man gewöhnlich im lufttrockenen Zustande verwendet, sowohl aus dem im Heizmaterial vorhandenen wie auch aus dem beim Verbrennen entstandenen Wasser Wasserdampf entwickelt wird; es enthält daher der den Kalkstein durchziehende Gasstrom immer Wasserdampf beigemengt.

Selbstverständlich ist, daß ein vollkommenes Durchbrennen des Kalksteins erschwert wird, wenn derselbe in zu großen Stücken in den Ofen kommt, indem die Hitze, von außen nach innen wirkend, größere Stücke schwieriger durchdringt und zur Gare bringt als kleinere; daher ist zu empfehlen, daß man größere Stücke vor dem Brennen zerschlägt oder dieselben an die heißesten Stellen des Ofens, in der Nähe des Heizraumes und in der Mitte des Ofens, die kleineren dagegen an die weniger heißen Stellen, an den Rand und nach oben hinbringt.

Man ersieht aus Vorstehendem, daß es demnach keine Schwierigkeiten hat, aus reinem Calciumcarbonat oder aus Kalksteinen, welche fremde Stoffe in nur sehr geringer Menge beigemengt enthalten, einen garen, kohlensäurefreien Kalk zu erzielen, selbst wenn man beim Brennen die Hitze etwas über jenen Temperaturgrad steigert, bei welcher die Zersetzung des Calciumcarbonats erfolgt, da der dabei entstehende Aetzkalk auch bei sehr hoher Temperatur sich nicht verändert, indem er unschmelzbar ist. Auch bei einer Beimengung von größeren Mengen Magnesiumcarbonat bleibt der Kalk in der höchsten Ofentemperatur unschmelzbar und sintert nicht, da die entstehende Magnesia ebenso unschmelzbar ist wie der Kalk. Enthält aber der Kalkstein, wie es sehr häufig ist, größere Mengen Kieselerde oder Thon, so tritt dann bei hoher Temperatur ein Sintern des gebrannten Kalkes ein, indem die Kieselsäure mit dem Kalke eine schmelzbare Verbindung eingeht; dadurch verliert der gebrannte Kalk mehr oder weniger die Fähigkeit, sich mit Wasser zu löschen, man bezeichnet ihn dann als ganz oder theilweise todtgebrannt. Der Bildung von todtgebranntem Kalk beim Brennen der Kalksteine, die größere Mengen Kieselsäure und Thon enthalten, kann man dadurch begegnen, daß die Anwendung einer zu hohen Hitze vermieden wird und zwar muß dieses um so sorgfältiger geschehen, je größer der Gehalt des Kalkes an diesen Beimengungen ist. Man darf daher bei einem solchen Kalkstein die Temperatur nicht höher steigern, als zum Austreiben der Kohlensäure erforderlich ist.

Es sei auch bemerkt, daß man die Beobachtung gemacht hat, daß selbst reine Kalksteine, wenn sie beim Brennen lange in der Gluth standen, einen gebrannten Kalk geben, der sich träge löscht; es scheint demnach, daß es besser ist, den Kalkstein schnell zu brennen. Eine Erklärung der Ursache dieser Veränderung ist zur Zeit noch nicht gegeben, möglicherweise ist dieselbe auf eine Molekularveränderung zurückzuführen.

Das Kalkbrennen, d. h. die Darstellung des gebrannten Kalkes im Großen wird auf verschiedene Weise ausgeführt, je nachdem man bei der Verwendung des Kalkes (ob zu Mörtel, Düngemittel ꝛc.) verschiedene Ansprüche bezüglich der Qualität desselben macht, ferner je nachdem als Brennmaterial Holz, Torf, Steinkohlen oder Coaks zur Verwendung kommen und dann nach dem größeren oder geringeren Absatz des gebrannten Kalkes.

An Orten, wo das Brennmaterial sehr billig ist und wo der Bedarf nur ein vorübergehender ist, geschieht das Kalkbrennen noch auf die einfachste Weise in Meilern, Gruben oder Feldöfen.

Das Brennen in Meilern wird z. B. noch an den Ufern der Sambre in Belgien ausgeführt. Man gräbt auf der kreisrunden, 5 bis 6 m weiten Meilerstätte eine circa 1 m tiefe cylindrische Grube in der Richtung des Durchmessers vom Umfang bis etwas über den Mittelpunkt hinaus als Heizcanal aus, welcher mit größeren Steinen locker überwölbt wird. Die Löcher zwischen den großen Steinen werden mit kleineren so zugedeckt, daß die nun aufgeschütteten Kohlen nicht durchfallen können. Nachdem so die Feuergasse hergestellt ist, folgt der Aufbau des Meilers selbst, welcher aus abwechselnden Schichten von Kalkstein und Steinkohlen, je 19 bis 20 cm, in der Höhe von 4,5 m nach einem gewissen Plane besteht. Die Steine werden hoch gestellt, jedoch etwas nach innen geneigt. Die Steinschichten sind in der Mitte des Meilers am dicksten und verlaufen gegen den Umfang hin; auch macht man jede obere Steinschicht stärker als die vorhergehende, die oberste etwa 30 cm dick. Die Kohlenschichten bleiben durchaus gleich. Auf diese Weise erhält der Meiler eine Art von Wölbung und der Bau hinreichend Sicherheit gegen das Einstürzen durch die beim Brennen erfolgende Schwindung. Sobald der Aufbau fertig ist, bekleidet man ihn äußerlich mit einer 50 mm dicken Lage von feuchtem Lehm und umgiebt das Ganze mit einem Mantel von liegend aufgeschichteten großen Steinen. Durch Einschieben von Reisig und dürrem Holz in die Zündgasse steckt man den Meiler in Brand, verschließt, sobald das Feuer ordentlich angebrannt ist, die Zündgasse mit Erde und leitet das Feuer, ähnlich wie beim Kohlenbrennen, durch passend angebrachte Zuglöcher. Auch hat man während des Brennens eines solchen Meilers fortwährend auf Risse und Sprünge im Lehmbewurf zu achten und solche schnell wieder zu verschmieren.

Ein solcher Meiler verbraucht bei einem Inhalte von ca. 50 Cubikmeter Kalkstein, 9,7 Cubikmeter Kohlenklein und erfordert mit acht Arbeitern vier Tage zum Aufschichten und fünf bis sechs Tage vom Anzünden bis zum Ziehen des fertigen Kalkes. Man erhält hierbei auch verhältnißmäßig viel Staubkalk, welcher selbstverständlich mit viel Kohlenasche vermengt ist.

Kalkbrennen in Gruben. Man macht in eine Erdabdachung einen viereckigen Einschnitt mit abgerundeten Ecken von 1,20 bis 1,50 m Länge und Breite und 2,50 bis 3 m Tiefe, überzieht die inneren Wandungen mit einem Lehmbeschlag oder setzt sie mit feuerbeständigen Steinen aus. In dieser Grube werden die Kalksteine in der Weise aufgesetzt, daß durch größere Steine im unteren Theile ein freier 0,40 bis 0,60 m breiter und hoher Raum fast nach der ganzen Tiefe als Feuergasse gebildet und dieser oben durch gewölbeartig aufgesetzte

Kalksteine geschlossen wird; über diesem werden kleinere Kalksteine so aufgeschichtet, daß die Flamme frei durchspielen kann; dabei wird die vordere Wand aus größeren Steinen regelmäßig angesetzt, damit die Kalksteine nicht zusammenrutschen können. In der Feuergasse wird die Feuerung mit Holz anfangs gelinde, dann stärker drei bis vier Tage beständig unterhalten, bis der Kalk gar ist. Mit 100 Pfund Steinkohlen werden im Durchschnitt 600 Pfund Kalksteine gar gebrannt.

Im bayerischen Oberlande, in Tyrol, in der Lahngegend ꝛc. brennt man den Kalkstein zuweilen noch in sogenannten **Feldöfen**. Der Ofen ist ein in die Böschung eines Hügels eingebauter Schacht, den man aus denselben Kalksteinen, wie die zu brennenden, aber größeren Stücken, ohne Mörtelverbindung, aufbaut. Auf dem Boden wird zunächst ein Gewölbe für den Heizraum aus Steinen von geeigneter Form hergestellt, auf dieses Gewölbe werden die übrigen Kalksteine aufgeschüttet, doch so, daß die groben Steine zu unterst, dann die mittlerer Größe, dann die kleinsten kommen. An dem unteren Theile hat der Schacht noch einen Zugang zur Feuerung. Die Lage des Ofens an einer Erhöhung gestattet den bequemen Zugang sowohl von unten als von oben, und zugleich dient die umgebende Erde zum Zusammenhalten der Schachtmauer und der Wärme. Man verbraucht bei diesen Oefen ca. 1 Ctr. buchen Stockholz auf 1 cbm gebrannten Kalk.

Es ist leicht einzusehen, daß das Kalkbrennen in Meilern, Gruben und Feldöfen ein höchst mangelhaftes ist; es erfordert einen bedeutenden Aufwand an Brennmaterial und Zeit, und außerdem ist der dadurch erzielte Kalk nicht immer tadellos, indem ein Theil der Kalksteine nur unvollkommen gebrannt erhalten wird; es ist daher diese Art zu brennen nur noch auf einige vom Verkehr noch wenig berührte Gegenden beschränkt. Wo es sich daher darum handelt, bedeutende Quantitäten von Kalk für einen größeren Absatz zu produciren und dabei an Arbeit, Zeit und Brennmaterial zu sparen, müssen zweckmäßig construirte, gemauerte Kalköfen angelegt werden.

Die **Kalköfen** haben eine sehr verschiedene Einrichtung und es haben dieselben namentlich in der letzten Zeit, besonders hervorgerufen durch den steigenden Preis des Brennmaterials, in Bezug auf Construction und die Art des Betriebes sehr wesentliche Verbesserungen erfahren.

Wie andere Industriezweige wendet sich in der neuesten Zeit auch die Kalkbrennerei mehr und mehr dem Großbetriebe zu, namentlich in solchen Gegenden, welche eine billige Verfrachtung ermöglichen, sowie auch in der Nähe größerer Städte, wo man auf regelmäßigen Absatz rechnen kann. Indem diese Brennereien über größere Betriebscapitalien verfügen, so sind sie im Stande, alle von der Technik gebotenen Vortheile zu benutzen, rationell und gleichzeitig massenhaft zu produciren und ihre Producte selbst auf größere Entfernungen noch concurrenzfähig zu machen.

Es würde zu weit führen, alle bisher zur Anwendung gelangten Kalköfen eingehend zu besprechen; wir beschränken uns daher darauf, die verschiedenen Constructionen der Kalköfen in ihrem Principe zu erläutern und die rationelle Benutzung derselben anzugeben.

Bei den Kalköfen unterscheidet man zunächst solche mit periodischem und solche mit continuirlichem Betriebe. Bei den periodischen Kalköfen läßt man nach beendetem Brande den Ofen ganz oder theilweise erkalten, um den garen Kalk auszuziehen, und beschickt den Ofen dann von Neuem mit Kalksteinen behufs der Ausführung eines weiteren Brandes; hier bildet demnach jeder Brand eine für sich abgeschlossene Periode. Bei den Kalköfen mit continuirlichem Betriebe geht das Brennen ununterbrochen fort, indem man den gar gebrannten Kalk in regelmäßigen Zwischenräumen aus einer am unteren Theile des Ofens befindlichen Oeffnung auszieht und zugleich eine entsprechende Menge frischer Kalksteine von oben durch die Gicht nachfüllt; hier wird also bei nicht gelöschtem Feuer das Eintragen der Kalksteine und das Ziehen des garen Kalkes bewirkt.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied liegt in der Art zu feuern. Entweder bringt man Kalksteine und Brennmaterial in abwechselnden Schichten in den Schacht des Ofens und indem man dann die unterste Schicht des Brennmaterials entzündet, verbreitet sich allmälig das Feuer nach oben, so daß jede Schicht des Brennmaterials die darüber liegende Schicht Kalkstein gar brennt, Kalköfen mit kurzer oder kleiner Flamme. Oder die Feuerung ist getrennt angebracht, so daß nur die Flamme und die heißen Gase zum Kalk gelangen, Kalköfen mit langer oder großer Flamme; in diesen wird also der Kalk allein durch ein kräftiges Flammenfeuer und glühende Feuerluft gar gebrannt.

In den Kalköfen mit kurzer Flamme ist Holz und Torf als Heizmaterial nicht anwendbar; diese erfordern ein dichtes, nicht voluminöses, mit geringer Flammenentwickelung brennendes Heizmaterial wie Steinkohlen, für welche bemerkt werden muß, daß sich hierzu fette, backende Kohlen und solche mit langer Flamme, die zuviel als Gichtflamme entweicht, weit weniger eignen als magere; vortheilhaft läßt sich hierzu eine sehr billige Sorte — Rost-Grußkohle — verwenden. Die Oefen mit kleiner Flamme entwickeln immer einen ungewöhnlich starken Qualm, weshalb leicht eine Benachtheiligung der Nachbarschaft eintreten kann; sie produciren billiger, weil sie den Gebrauch auch geringer Brennstoffe zulassen.

Oefen mit großer Flamme erfordern ein mit großer Flammenentwickelung brennendes Material, wie Holz, Torf, gute Steinkohlen oder Gas und produciren etwas theurer als die Oefen mit kleiner Flamme.

Die Oefen mit kurzer Flamme verlangen einen gewissen Grad der Zerkleinerung und zwar möglichst gleichmäßiger Zerkleinerung des Kalksteins; bei großen Stücken tritt sehr häufig der Nachtheil ein, daß der Kalkstein nicht vollkommen gar und der Kern noch unzersetzt ist. Oefen mit großer Flamme lassen eine sorgfältigere Regelung des Feuers zu, wodurch nicht nur ein gleichmäßiges Durchbrennen des Kalksteins bewirkt wird, sondern sie gestatten auch, den Kalkstein in größeren Stücken zu verwenden. Dadurch entstehen Vortheile, indem man das Zerschlagen der Steine erspart, man erhält den gebrannten Kalk in größeren Stücken, welcher bei der Aufbewahrung der Einwirkung der Luft besser widersteht und von den Consumenten auch dem Kalk in kleineren Stücken vorgezogen wird,

weil ein mit großen Stücken gefülltes Hohlmaß beim Löschen dem Volumen nach mehr gelöschten Kalk giebt, als ein gleiches mit kleinen Stücken gefülltes.

Von wesentlichem Einfluß ist es auch, daß in den Oefen mit großer Flamme der Kalkstein wie auch der gebrannte Kalk nur mit der Flamme in Berührung kommt, während sich in den Oefen mit kleiner Flamme der Kalkstein mit dem Brennmaterial und der gebrannte Kalk mit der Brennmaterialasche in unmittelbarer Berührung findet. Letztere gewähren allerdings den Vortheil der vollkommensten Ausnutzung des Brennmaterials, haben aber den Nachtheil, daß der gebrannte Kalk durch die Asche und Schlacke der Kohle verunreinigt wird. Man kann allerdings den gebrannten Kalk von dem größten Theile der Asche befreien, wenn man ihn beim Herausnehmen aus dem Ofen über einen aus Eisenstäben gebildeten Rost zieht, wobei ein Gemenge von Asche und Kalkstaub, als Kalkasche oder Düngerkalk zu Dünger verwendbar, durch den Rost hindurchfällt, während die gereinigten Kalkstücke über den Rost hinwegpassiren. Beseitigt man die Asche nicht, so wird seine Qualität verschlechtert.

Ein weiterer Nachtheil bei Oefen mit kleiner Flamme kann dadurch entstehen, daß ein Zusammenschmelzen der thonhaltigen Asche mit dem Kalke, namentlich bei sehr hoher Temperatur stattfindet, wodurch sich auf der Oberfläche des Kalkes eine Kruste bildet, der sogenannte Schmelz; ein solcher Kalk löscht sich schwer oder nur unvollkommen.

Eine Beeinträchtigung der Qualität des Kalkes durch die Asche des Brennmaterials kommt bei Oefen mit großer Flamme nicht vor, daher kommt es, daß bei übrigens gleicher Qualität der mit großer Flamme gebrannte Kalk dem mit kleiner Flamme gebrannten Kalke vorgezogen und besser bezahlt wird.

a. Kalköfen zu periodischem Betriebe.

Dieselben sind immer noch an solchen Orten im Gebrauche, wo kein regelmäßiger und größerer Absatz vorhanden ist. Dieselben leiden an dem Uebelstande, daß nach jedem Brande sich der Ofen abkühlt und dann bei einem neuen Brande wieder mit einem nicht unbeträchtlichen Aufwande an Heizmaterial erhitzt werden muß; auch die Hitze, die der glühende, gar gebrannte Kalk besitzt, geht verloren, indem dieselbe von der Luft, welche nach dem Brande durch den Ofen zieht, weggeführt wird. Man kann an Brennmaterial etwas ersparen, wenn man den Ofen, bevor er ganz erkaltet ist, entleert und gleich wieder in Gang setzt. Bei den Oefen mit seitlicher Feuerung kommt noch hinzu, daß man die dem Feuer zunächst liegenden unteren Kalksteinschichten, welche doch zuerst gar werden, so lange forterhitzen muß, bis auch die obersten Schichten gar geworden sind. Die Kalköfen mit periodischem Betriebe geben daher im Allgemeinen eine geringere Production bei einem größeren Aufwande an Brennmaterial.

Zu den Oefen mit periodischem Betriebe und großer Flamme gehören die sogenannten Harzer Oefen, welche gewöhnlich einen inneren Ofenraum von ellipsoidischer Form haben. Soll der Ofen in Thätigkeit gesetzt werden, so baut man zunächst aus größeren Kalksteinen ein spitzbogenartiges Gewölbe, wel-

ches als Feuerraum dient. Auf dieses Gewölbe setzt man durch die Gicht die übrigen Kalksteine ein, bis der Ofenschacht gefüllt ist; dieses Gewölbe communicirt mit einer in der Vorderwand des Ofens befindlichen verschließbaren Oeffnung, durch welche die Einführung des Brennmaterials erfolgt. Unter der Feuergasse läuft ein Rost hin, wenn der Ofen zur Steinkohlenfeuerung bestimmt ist; derselbe fehlt, wo Holzfeuerung stattfindet.

In Oefen von großen Dimensionen werden mehrere Feuergewölbe ausgespart. Das den Ofen bedeckende Gewölbe enthält eine Anzahl verschließbarer Oeffnungen, wodurch der Zug regulirt werden kann. Bisweilen wird dieser noch durch Anbringung einer Esse vermehrt. In der Mitte des Ofens setzt man in der Regel noch eine Holzstange ein, durch deren Verbrennung nachher eine Höhlung entsteht, welche der besseren Vertheilung der Flamme und der Vergrößerung des Zuges förderlich ist. Nach dem Einsetzen der Steine wird durch die Heizöffnung ein leicht entzündliches Brennmaterial, Reisig u. dergl. gebracht und angezündet. Dadurch wird der Ofen allmälig angewärmt, so daß ein Zerbersten der das Gewölbe bildenden Steine vermieden wird. Nach und nach giebt man stärkere Hitze, bis die Steine vollständig gar werden. Am Anfange des Heizens, wo die Temperatur des Ofens niedrig ist, verdichtet sich auf den Steinen das in dem Heizmateriale vorhandene und das aus demselben beim Verbrennen entstehende Wasser, die Steine werden naß; es setzt sich Ruß auf den Steinen ab und es entweicht aus der Gicht zuerst Wasserdampf, schwere weiße Nebel bildend, dann dicker schwarzer Rauch (Schmauchfeuer); steigt dann die Temperatur des Ofens, so wird der Rauch mehr blau und vermindert sich, der Ruß auf den Steinen verbrennt und sie werden hellfarbig. Die an der Gicht erscheinenden Flammen, anfangs dunkel und rußend, werden im weiteren Verlaufe des Brennens immer heller und rußfreier. Erscheint dann der Kalkstein, von der Gicht aus gesehen, als eine weißglühende, gleichsam wollige lockere Masse, so ist der Kalk gar gebrannt, worauf man den Ofen abkühlen läßt und entleert.

Fig. 2.

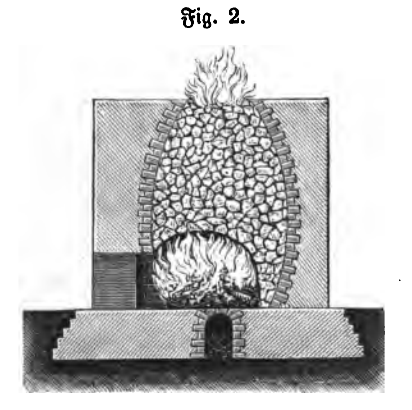


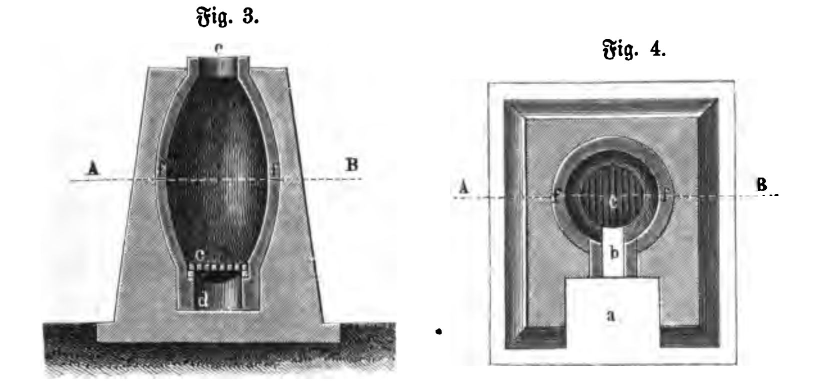
Fig. 2 zeigt einen Harzer Kalkofen ohne Rost für Holzfeuerung; derselbe wird an einem Bergabhange angelegt, so daß er bequem von der Gicht aus beschickt werden kann, andererseits auch vor dem Winde mehr geschützt ist. Die Höhe desselben beträgt 4,9 m, der obere Durchmesser des Ofens 2 m, der untere Durchmesser 2,5 m und die Schürraumhöhe 1,2 m. Ein Brand dauert einschließlich des Beschickens, Abkühlens und Entleerens etwa eine Woche; auf 1 Volumen gebrannten Kalk rechnet man 2 bis 3 Volumen Buchenscheitholz.

Fig. 3 und 4 zeigen einen Ofen mit Rost im Innern für Torf-, Braunkohlen- oder Steinkohlenfeuerung. *c* Roststäbe in den Kerben eines

eisernen Ringes, über welchen das Gewölbe aus größeren Kalksteinen aufgebaut ist, *d* Aschenfall, *b* Schürgasse, *a* Arbeitsgewölbe. Anstatt eines Rostes, aus eisernen starken Stäben gebildet, kann auch ein solcher aus einem durchbrochenen flachen, aus Ziegelsteinen gemauerten Gewölbe gebildet werden. Der Rost wird 0,6 m über der Sohle des Ofens angebracht, gleiche Höhe hat auch das für das Heizmaterial unmittelbar über dem Roste vorhandene Mundloch; die Tiefe des Ofens, von der Gicht bis zum Roste, beträgt 2,55 m; der größte Durchmesser des ovalen Cylinders ist 1,88 m, der kleinere Durchmesser oben 1,5 m, unten 1,7 m. Je nach der Beschaffenheit des Kalksteins, des Brennmaterials, des Ofens und des Wetters dauert ein Brand 24 bis 48 Stunden. Man rechnet für derartige Oefen an Steinkohlen zum Feuern 1 bis 1,5 Volumen auf 3 Volumen gebrannten Kalk.

Die Bedienung dieser Oefen ist eine umständlichere als die der anderen; es können zwar große Steine gebrannt werden und ist deshalb ein Zerschlagen der-

Fig. 3. Fig. 4.



selben nicht nöthig, aber die Steine müssen eingesetzt werden, und die Arbeit des Einsetzens ist besonders dann für den Arbeiter höchst lästig, wenn die neue Beschickung des Ofens erfolgen soll, bevor derselbe völlig erkaltet ist. Vollständiges Erkaltenlassen aber bedingt, da der Ofen geschlossen und überwölbt ist, beträchtliche Zeitverluste. Der Brennmaterialaufwand ist bei diesen Oefen größer als bei allen anderen.

Einen Kalkofen, bei welchem der Aufbau eines Feuergewölbes umgangen ist, ist von Fink in Darmstadt construirt worden und in Fig. 5 (a. f. S.) im Verticaldurchschnitt und in Fig. 6 im Horizontaldurchschnitt durch die Abzugsöffnungen dargestellt. Der Ofen, meist an einem Abhange eingebaut, stellt einen eiförmigen Schacht *b* mit Rauh- und Futtermauer vor; *e*, *e* ist eine um den Ofenmantel ziehende, nicht ausgemauerte, aber mit Lehm, Asche &c. ausgefüllte Isolirschicht, um die Ausstrahlung der Wärme nach außen zu verhindern. Die innere Bekleidung des Ofens und die Feuercanäle sind mit feuerfesten Backsteinen, die äußeren Umfassungswände aber mit gewöhnlichen Backsteinen oder schichtenmäßigem Bruchsteinmauerwerk aufgeführt. Unter der Sohle des Schachtes liegen die zwei

Feuerungen *a a* mit eisernen Rosten und Aschenfall; jeder Feuerraum *a a* ist seiner Länge nach mit fünf Gurtbögen *f* aus feuerfesten Steinen im Abstande von

Fig. 5.

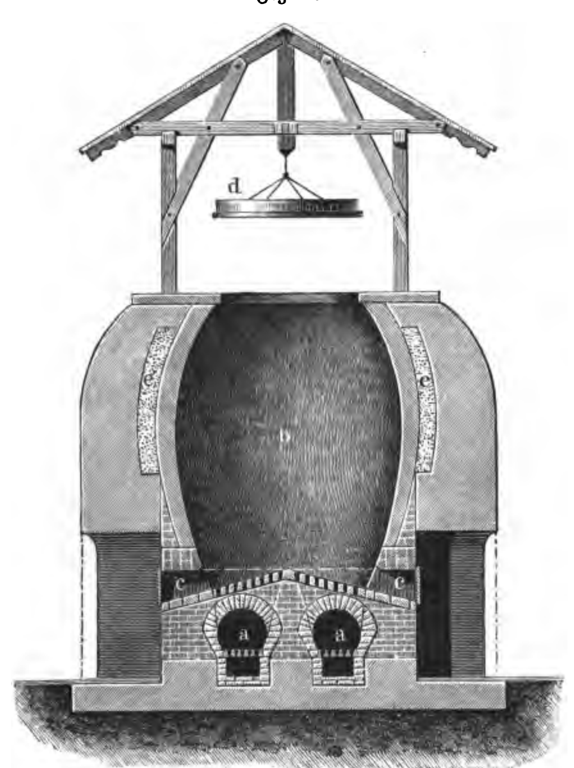
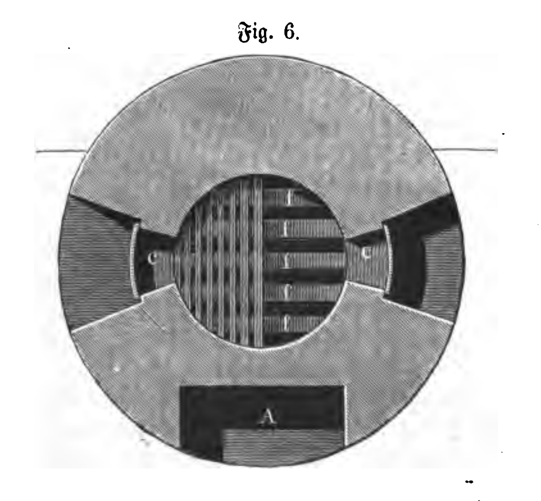


Fig. 6.



15 cm überspannt. Quer über diese Gurtbögen und ihre Zwischenräume laufen schmale Mauerzungen, ebenfalls aus feuerfesten und zwar hochkant stehenden Steinen errichtet, welche von einer Mittellinie nach beiden Seiten in zwei geneigten Flächen abfallen, um den fertigen Kalk bequemer aus den beiden Abzugsöffnungen *c* ziehen zu können. Jeder Ziehöffnung entspricht ein Zugang in der Rauhmauer des Ofens; ein dritter Zugang *A* führt zur Feuerung. Bei Anwendung dieses schrägen Rostes ist es nicht mehr nothwendig, aus ungebrannten größeren Kalksteinen über den Feuercanälen Gewölbe zu setzen. Man legt die gröbsten Steine von unten ein und füllt die übrigen Steine in abnehmender Größe von oben von der Gicht aus ein. Zum Eintragen der Kalksteine (ca. 21 cbm) ist die Arbeit von 8 Mann und $1^1/_2$ Tage nöthig. Der Brand dauert vier Tage und vier Nächte; wenn drei Tage und drei Nächte gefeuert ist, senkt man den eisernen mit Sand beworfenen Deckel *d*, welcher mit aufstehendem Rande versehen und in Ketten hängend zum Auf- und Niederlassen eingerichtet ist, auf vier um die Gicht vertheilte Backsteine; ist der Kalk gar gebrannt, hört man mit dem Feuern auf und setzt den Deckel dicht auf; die Beschickung ist dann etwa 0,5 m unter die Gicht geschwunden. Nach drei bis vier Tagen kann der Kalk gezogen werden; zwei Mann haben mit dem Entleeren des Ofens $1^1/_2$ Tage zu thun. Ein Ofen von 4 m Höhe und 3 m größter Weite lieferte im Durchschnitt für einen Brand 16 bis 17 cbm gebrannten Kalk. Auf 1 cbm Kalk rechnet man 12 bis 13 Ctr. Kiefern-Scheitholz erster Qualität, für gewöhnlich brennt man geringes Prügelholz und Reisig. Versuche, welche mit diesem Ofen zum continuirlichen Betriebe gemacht wurden, ergaben kein günstiges Resultat, weil seine breite Sohle das Abziehen des gebrannten Kalkes schwierig machte und oft veranlaßte, daß ungebrannte Kalkstücke von den zunächst den Abzuglöchern gelegenen höheren Schichten ausgezogen wurden. Wenn der Ofen vor dem Entleeren nicht ganz abgekühlt ist und dann gleich wieder gefüllt und geheizt wird, ist eine Ersparniß von Brennmaterial gegen oben eintretend.

Ein periodischer Ofen mit seitlichen Rosten für Braunkohlen- und Steinkohlenfeuerung, wie er bei Berlin und Osnabrück mehrfach in Anwendung ist, hat nach Heeren nachstehende Einrichtung (Fig. 7, a. f. S., Verticaldurchschnitt, Fig. 8, der untere Theil des mit Kalkstein beschickten Ofens im Horizontalschnitt und Fig. 9 im Verticalschnitt [1]). Zum Brennen des Kalkes dient der untere, oben überwölbte Raum von 3,45 m Höhe, 3,60 m unterer und 3,13 m oberer Weite; die Feuerungen liegen hier außerhalb des Schachtes in gleicher Höhe mit dessen Sohle und von denselben gehen die Flamme und Feuergase in den Ofen. Es sind vier solcher Feuerungen *e, e, e, e* vorhanden, symmetrisch um den Ofen vertheilt und mit eisernen geneigten Rosten versehen, vor deren jeder zur besseren Vertheilung der Flamme aus Kalksteinen ein kleines Gewölbe hergestellt ist. Darüber kommt Kalk, mit in der Mitte eingestecktem Holz, nach dessen Verbrennung ein Zugschacht entsteht; *b* der Zugang zum Einbringen des Kalksteins, welcher während des Brennens mit Backsteinen zugemauert ist; *d* die Oeffnung zum Ausfahren des gebrannten Kalkes, welche ebenfalls während des Brandes

[1] Heeren, Dingl. pol. J. 154, 257.

vermauert bleibt; *c* eine Bedachung über dem Eingange zu dem bedachten kreisförmigen Raume *m* um den Ofen, also zu den Schürlöchern und der Thüre *d*. *a* ist ein Zugang zu dem oberen Mantel über dem Ofen und zu den Zuglöchern in dem Gewölbe des Ofens. Dieser Zugang dient, um das Austreten der

Fig. 7.

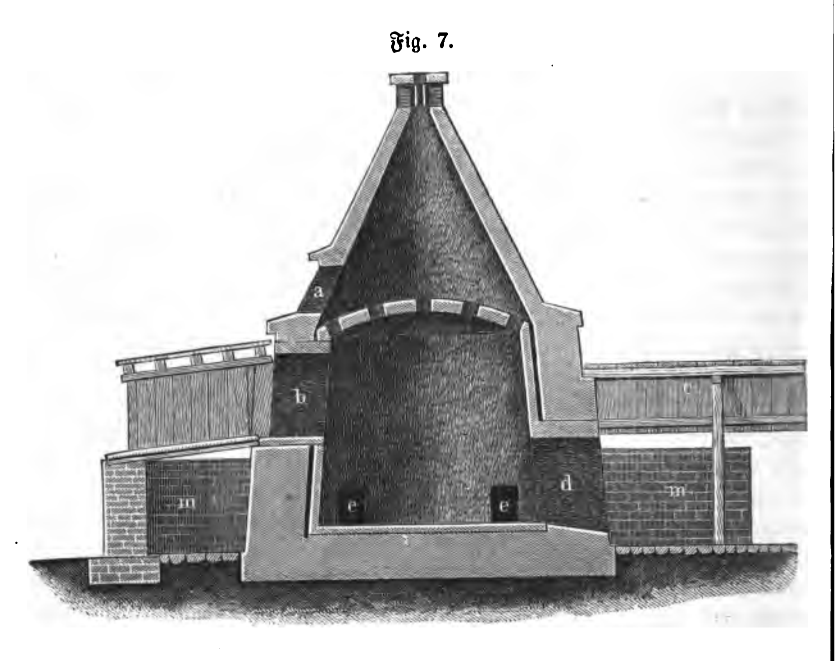


Fig. 8.

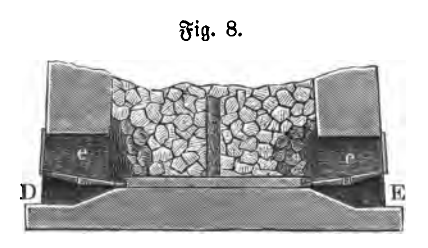
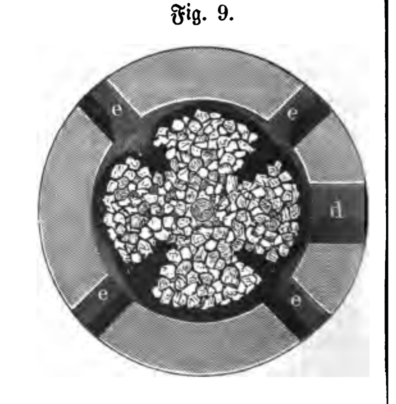


Fig. 9.

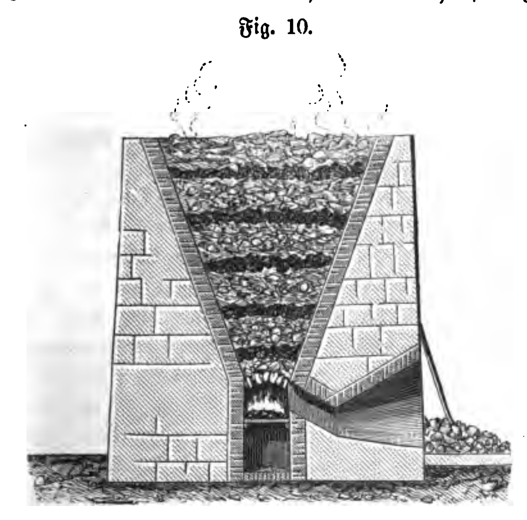


Flamme aus den einzelnen Gewölbeöffnungen beobachten und je nach Erforderniß einzelne derselben durch aufgelegte Steine verschließen und dadurch die Gluth mehr nach anderen Stellen des Ofens hinlenken zu können. Der Brand dauert in diesen Oefen, das sechsstündige Schmauchfeuer eingerechnet, durchschnittlich 3 × 24 Stunden, und man braucht auf 1 cbm Kalk $^1/_3$ bis $^2/_5$ cbm Steinkohlen.

Oefen mit periodischem Betriebe für kleine Flamme. Bei diesen ist der Schacht gewöhnlich trichterförmig, d. h. derselbe verjüngt sich bei kreisrundem Querschnitte nach unten zu, ist also oben bedeutend weiter als unten. Dieselben arbeiten schneller und billiger und erfordern weniger Brennmaterial als die periodischen Oefen mit großer Flamme, haben aber den Nachtheil, daß in ihnen der gebrannte Kalk mit der Asche des Brennmaterials, welches nur Stein- oder Braunkohlen oder Coaks sein kann, verunreinigt wird und daß die Kalksteine nur in kleinen Stücken verwendet werden können. Sie haben aber auch den Vortheil, daß der periodische zu einem continuirlichen Betriebe umgestaltet werden kann, wenn man mit dem Ausziehen des Kalkes nicht wartet, bis das Feuer erloschen und der Kalk bis oben hin gar gebrannt ist, sondern wenn man mit dem Ausziehen des Kalkes beginnt, sobald derselbe im unteren Theile des Ofens gar gebrannt ist, dann den im Ofen durch Nachsinken der Füllung entstandenen leeren Raum wieder mit abwechselnden Lagen von Kalkstein und Brennmaterial ausfüllt und das Ausziehen und Auffüllen von Zeit zu Zeit wiederholt.

Fig. 10 stellt einen Trichterofen zu periodischem Betriebe für kleine Flamme dar. Im unteren Theile des trichterförmigen Schachtes liegt ein Rost über dem Aschenraum; oberhalb des Rostes geht seitlich ein Canal schräg ab zum Ausziehen des Kalkes, welcher vermauert oder durch eine eiserne Thür geschlossen werden kann. Die Gichtöffnung ist überwölbt und communicirt mit einer etwa 2 m hohen Esse. Soll der Ofen besetzt werden, so bringt man auf den Rost Reisig und dünn gespaltenes Holz, dann eine Lage des Brennmaterials, auf diese eine Lage Kalkstein und so fort, bis der Ofen gefüllt ist. Im unteren Theile des Ofens macht man die Schichten des Brennmaterials stärker und bricht nach oben allmälig von dem Heizmateriale ab. Der seitliche Abzugscanal wird dann verschlossen. Hierauf wird das Reisig durch unter den Rost erzeugtes Strohfeuer entzündet, wodurch dann auch die Steinkohlen in Brand gesetzt werden; jede Lage Brennmaterial brennt die über ihr liegende Schicht Kalksteine. Ist das Feuer bis oben hin gelangt und die oberste Schicht Kalkstein gar gebrannt, nach 24 bis 36 Stunden und mehr, so läßt man den Ofen erkalten und zieht den Kalk unten aus der seitlichen Abzugsöffnung heraus. Die Trichteröfen haben gewöhnlich eine Höhe von 3,76 bis

Fig. 10.



5,6 m, eine obere lichte Weite von 2,2 bis 4,7 m, eine untere von 1,25 bis 1,56 m. Durchschnittlich verbraucht man in diesen Oefen auf 3 Vol. Kalksteine 1 Vol. Steinkohlen.

Von dieser Art Kalköfen giebt es wieder verschiedene Modificationen. Bisweilen fehlt der Abzug; der Rost besteht dann aus lose liegenden Roststäben und diese werden, nachdem der Brand beendet ist, herausgezogen, so daß der Kalk in den Aschenraum fällt und von hier abgezogen wird. Manchmal ist der Abzug vorhanden, aber kein Rost; das Anzünden des Ofens geschieht dann durch den Abzug und durch diesen gelangt die Luft in den Ofen. Der Schacht des Ofens hat bisweilen die Gestalt eines Ellipsoids mit einer Höhe von oft 8 bis 9 m, Flaschenofen.

Diese Art Oefen haben eine große Verbreitung, indem sie auch geringes Brennmaterial zu verwenden gestatten, besonders die sehr billigen und gut geeigneten Gruskohlen.

b. Kalköfen für ununterbrochenen Betrieb.

Bei diesen braucht man das Mauerwerk während der ganzen Zeit, wo man Kalk brennt, nur einmal zu heizen, man hat daher nicht die Verluste an Wärme durch die Abkühlung des Ofens beim Ausleeren und Füllen, wie bei Oefen mit periodischem Betriebe; daraus folgt, daß diese Oefen eine große Ersparniß an Brennmaterial und Arbeitszeit gewähren; sie sind aber nur da am Platze, wo ein regelmäßiger gesicherter Absatz in Masse vorhanden ist.

Von den Oefen zu continuirlichem Betriebe mit großer Flamme (Cylinderöfen oder Rumford'sche Oefen) ist der bekannteste der sogenannte Rüdersdorfer Ofen, der auf dem bei Berlin gelegenen Kalkwerke von Rüdersdorf seit Langem in Gebrauch ist. Fig. 11 und 12 zeigen einen solchen Ofen für Holz- und Torffeuerung; Fig. 11 ist der senkrechte Durchschnitt durch die Achse des Schachtes, Fig. 12 der wagerechte Schnitt, und zwar in der Höhe der Feuerungen auf der rechten Seite, in der Höhe der Zuglöcher auf der linken Seite der Theilungslinie *ZZ*. Den Haupttheil des Ofens bildet ein Schacht *C*, mit kreisrundem Querschnitt, welcher von der Gicht bis zu den Feuerungen 12 m, von da bis zur Sohle 2,2 m, also im Ganzen 14,2 m hoch ist; der Schacht ist nicht rein cylindrisch, er hat vielmehr seinen größten Querschnitt da, wo die Feuerungscanäle einmünden; hier beträgt der Durchmesser des Querschnitts 2,5 m im Lichten. Von hier aus verengt sich der Schacht nach oben und nach unten, so daß er an Gicht und Sohle nur noch eine lichte Weite von 1,9 m hat. Er ist inwendig, also an der dem Feuer ausgesetzten Fläche, bis auf 10 m von der Sohle aufwärts mit feuerfesten Steinen *d'* ausgekleidet, und zwar in Absätzen in der Stärke von 1/2 bis zu 1 1/2 Steinen und von einer aus Bruchsteinen construirten Rauhmauer *ee* umgeben, welche von der Schachtmauer *dd* mehrere Centimeter absteht, und so einen Zwischenraum läßt, der mit Asche ausgefüllt ist, wodurch der Schachtmauer freier Spielraum zur Ausdehnung gegeben ist, ohne daß die Rauhmauer in Gefahr kommt, gesprengt zu werden. Der ganze Ofen

ist mit einem Mantel *BBBB* umgeben, welcher die Gewölbe *ppp* umschließt; letztere bilden Räume, von welchen die in den unteren Stockwerken zum Auf-

Fig. 11.

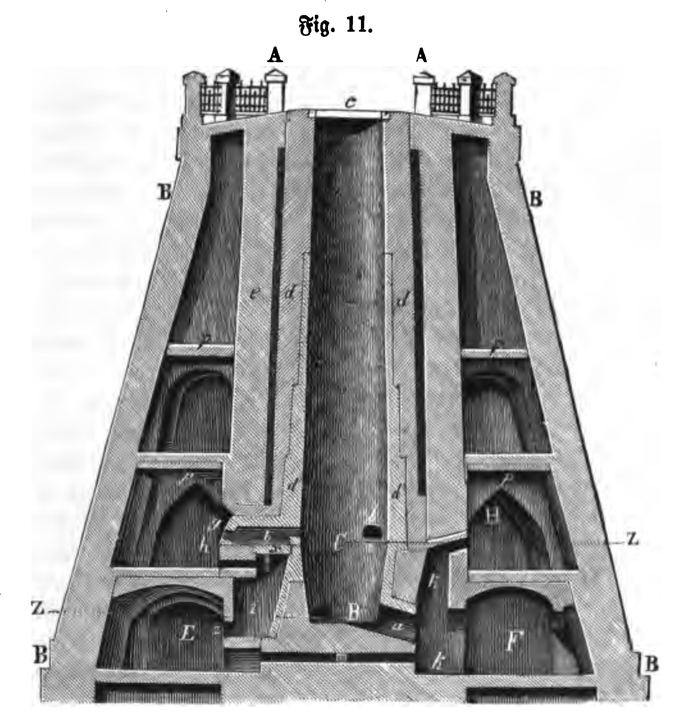
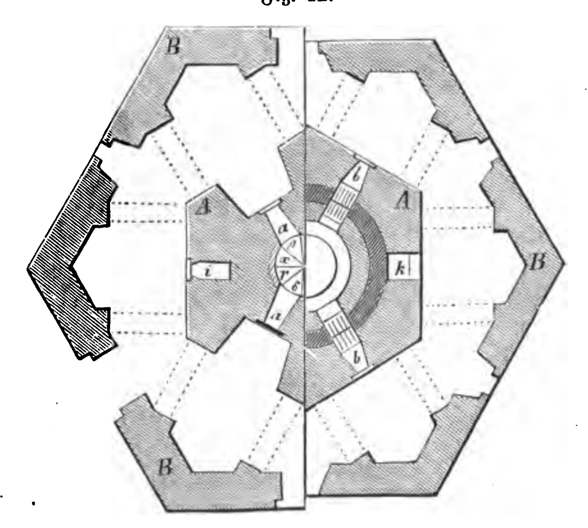


Fig. 12.



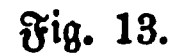
bewahren des Brennstoffes und Kalkes, die oberen zum Aufenthalte der Arbeiter dienen. Die Heizung erfolgt von vier symmetrisch um den Schacht vertheilten Feuerungen *bbbb* aus; diese bestehen in horizontalen, mit feuerfesten Steinen ausgekleideten Canälen, welche mit einem aus durchbrochenen Thonplatten bestehenden Rost versehen sind; in der Mitte, wo beide Thonplatten zusammenstoßen, sind sie von einem Gurtbogen unterstützt. Die Beschickung des Rostes mit Brennmaterial erfolgt durch die Oeffnungen *g*, welche durch eiserne Thüren gut verschließbar sind. Die Luft gelangt durch den Canal *h* zu dem Brennmaterial und die Asche sammelt sich in dem Aschenfalle *i*; soll dieser entleert werden, so zieht man die eiserne Schlußplatte *s* weg und die Asche fällt von selbst in den Raum *E*, wo sie nach dem Erkalten herausgeholt wird. Zwischen zwei Aschenfällen liegt je eine zum Ziehen des gebrannten Kalkes dienende Oeffnung *a*; diese Oeffnungen sind, um das Nachfallen zu erleichtern, nach innen erweitert und um die sonst beschwerliche Arbeit des Ziehens noch mehr zu unterstützen, ist die Sohle nach den Oeffnungen zu nicht nur geneigt, sondern auch noch besonders so construirt, daß die Steine von selbst nachsinken. Nach den drei Seiten nämlich, an denen die Ziehöffnungen liegen, bildet die Sohle vom Mittelpunkte aus Einschnitte oder Kerben; diese sind durch eben so viele Zwischenerhöhungen getrennt, auf welchen, weil sie eine Schneide bilden, die Steine nicht liegen bleiben. Diese werden alle dem Einschnitte, und wegen der Neigung derselben nach außen, auch den Ziehöffnungen zufallen. Die Ziehöffnungen sind mit Eisenplatten verschlossen, die nur im Augenblicke des Ziehens geöffnet werden. Vor den Ziehöffnungen steigt ein senkrechter Canal *k* aufwärts in den äußeren Raum *H*; er dient dazu, den Arbeiter gegen die allzu heftige Hitze zu schützen, indem er die heiße mit Kalkstaub beladene Luft unmittelbar nach *H* ableitet.

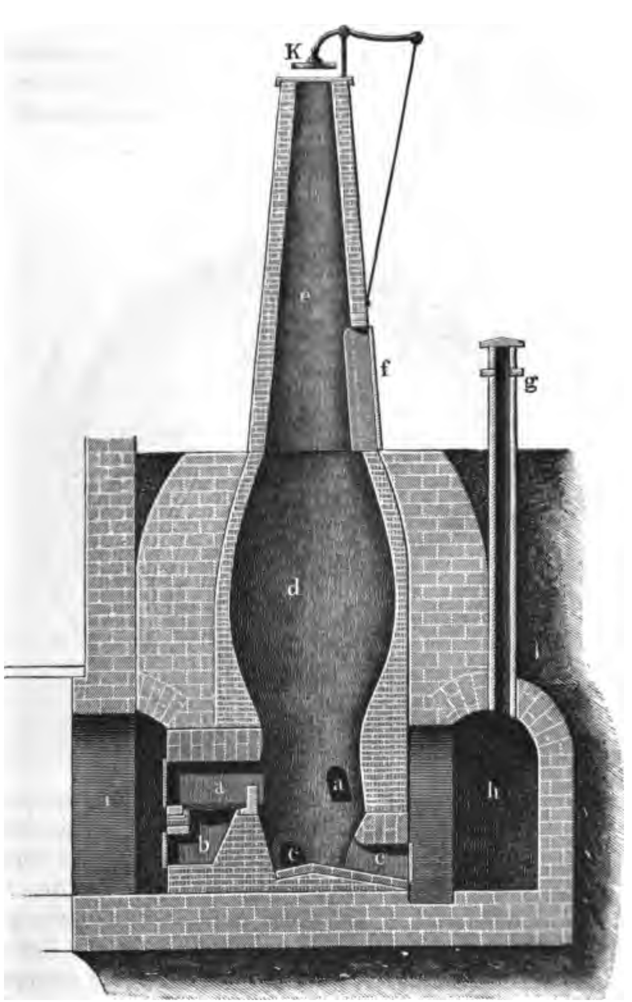
Während nun am Fuße des Ofens von Zeit zu Zeit gare Steine gezogen werden, wird in der Mitte ohne Unterlaß gefeuert und von der Gicht aus frischer Kalkstein nachgefüllt. Zu dem Ende ist die Gicht, welche mit dem Steinbruche durch eine Eisenbahn in Verbindung steht, mit einer ringförmigen Platte *c* bedeckt und mit einem Geländer eingefriedigt.

Soll der Ofen in Gang gesetzt werden, so füllt man den Schacht bis zur Höhe der Feuerherde *bb* hoch mit Kalksteinen und brennt diese, indem man Feuer in den Ziehöffnungen anzündet. Sind diese Kalksteine gar gebrannt, so füllt man den Schacht vollends an, indem man die Steine anfangs in Eimern hinabläßt und dann von oben hineinwirft, bis sie auf der Gicht gehäuft liegen; darauf zündet man das Feuer in den eigentlichen Feuerungen an, welches dann fortwährend unterhalten wird. Alle 12 Stunden wird Kalk gezogen. Ein Ofen, wie der abgebildete, mit vier Schüren faßt ca. 40 cbm Kalk und die Production pro Tag ist über 11 000 kg.

Außer den vierschürigen werden in Rüdersdorf auch drei- und fünfschürige Kalköfen nach Rumford's System betrieben. Ein dreischüriger Ofen hat folgende Dimensionen: Ofenhöhe zwischen Sohle und Gicht 10,7 m, größter Schachtdurchmesser 2,197 m und Gichtdurchmesser 1,569 m; die Producton pro Ofen und Tag ist nahezu 9000 kg Stückkalk.

Ein von *Hofmann* in *Döbeln* in Sachsen für Steinkohlenfeuerung construirter Ofen unterscheidet sich von dem Rüdersdorfer Ofen dadurch, daß die Feuerungen und Ziehöffnungen für den gebrannten Kalk, und zwar je vier, in *einer Ebene* liegen und auf die überwölbte Gicht, um Steinkohlenfeuerung

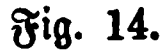

Fig. 13.

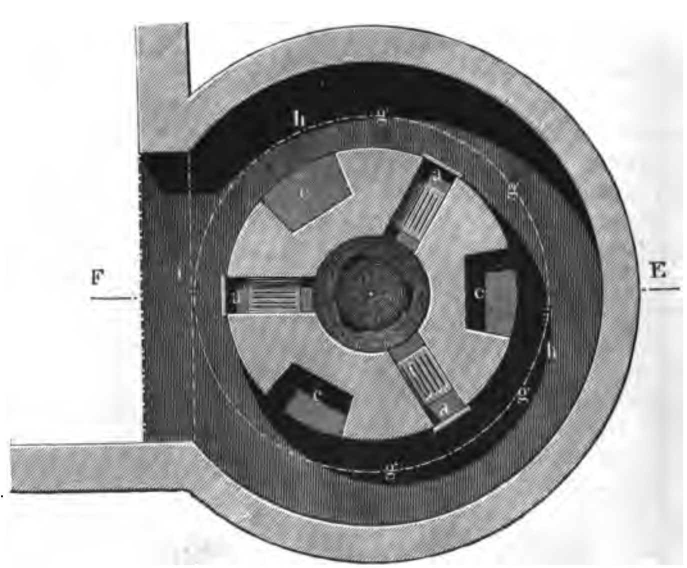


möglich zu machen, eine den Zug wesentlich befördernde Esse gesetzt ist. Die erste Abänderung gestattet, den Ofen etwas zu verkürzen und somit etwas billiger herzustellen, verhindert aber, daß der gebrannte Kalk im Ofen selbst zur Abkühlung gelangt; dieser muß vielmehr im glühend heißen Zustande gezogen werden, und zwar in demselben Raume, von welchem aus die Bedienung

der Feuerungen erfolgt, dadurch wird die Arbeit des Kalkziehens für den Arbeiter sehr lästig.

Von den Rüdersdorfer Oefen unterscheidet sich der von Fink im Darmstädtischen vielfach ausgeführte dreischürige durch die Eiform des Schachtes *d* und einen Kamin *e* auf der Gicht desselben mit der Thür *f* von Eisenblech zum Eintragen der Kalksteine und dem Deckel *K*. Fig. 13 (a. v. S.) zeigt einen solchen Ofen im Verticaldurchschnitt und Fig. 14 im Horizontaldurchschnitt durch die Schürlöcher. *a*, *a*, *a* sind die drei Schürlöcher mit eisernen Rosten und zugehörigem Aschenfall *b*; *c*, *c*, *c* sind die Abzugsöffnungen für den gebrannten Kalk. Der Ofen wird, wenn möglich, an einem Abhange ganz in die Erde


Fig. 14.



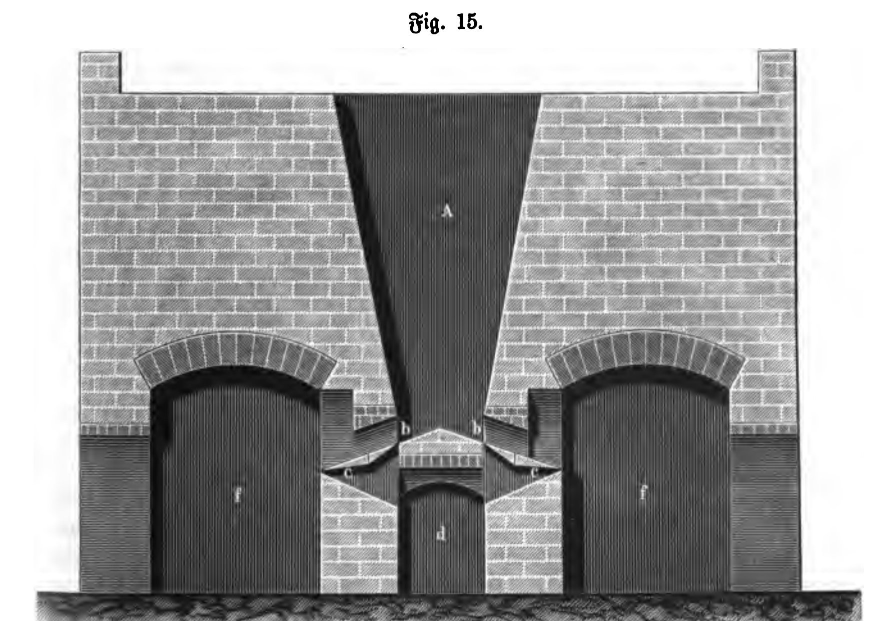
eingebaut; hierdurch wird es nöthig, um den Ofen herum einen überwölbten weiten Gang *h* mit der Thür *i* anzulegen, mittelst dessen man an die Schür- und Abzugslöcher gelangen kann. Die Abzüge *g* dienen, um die im Gange *h* erwärmte Luft abzuführen. Solcher Luftzüge sind vier an den in Fig. 14 mit *g* bezeichneten Stellen vorhanden; sie sind nöthig, weil sich in dem Gange *h* sonst eine für den Arbeiter unerträgliche heiße Luft feststellen und das Feuer in den hinteren Schürlöchern träge brennen würde. Zur Feuerung dient geringes Reisig- und Prügelholz. Während der Feuerung ist die Schornsteinklappe *K* aufgehoben, die Abzugsöffnungen *c*, *c*, *c* werden durch die gußeisernen Thüren verschlossen gehalten und mit Lehm verstrichen. Während des Ziehens, was täglich zweimal geschieht, schließt man die Klappe, ebenso die Thüren der Feuerungen und der Aschenfälle, um den Durchgang von kalter Luft durch den Ofen und die hierdurch entstehende Abkühlung zu verhüten. Der Ofen faßt bei 6 m Höhe, 2 m größter

Weite und 5 m Höhe des Kamins gegen 12 cbm Kalk. Täglich werden zweimal 1 bis 1,5 cbm gezogen. Der Verbrauch an gutem Tannenscheitholz stellte sich auf etwa 10 Ctr. für 1 cbm gebrannten Kalk.

Es sei auch noch erwähnt, daß im Departement de la Mayenne Kalköfen (Schachtöfen) verwendet werden, in welchen das Brennen zu gleicher Zeit mittelst Einschichtung von Brennmaterial und seitlicher Rostfeuerung bewirkt wird (combinirte Oefen mit großer und kleiner Flamme [1]).

Die Oefen zu continuirlichem Betriebe mit kleiner Flamme haben gewöhnlich die Form eines Trichters. Fig. 15 zeigt einen solchen Ofen, Schneller- oder Trichterofen (auch Kessel- oder Trichter-Schüttofen) ge-

Fig. 15.



nannt, im verticalen Durchschnitt. Die Höhe des Ofenraumes A beträgt etwa 4,8 m, der kreisförmige Querschnitt desselben hat an der Ofensohle 1,4, an der Gicht 2,8 m Durchmesser. Die Ofensohle ist sattelförmig. An den beiden einander diametral gegenüberliegenden am tiefsten gelegenen Stellen der Ofensohle befinden sich die Oeffnungen b, durch welche der gebrannte Kalk herausgezogen wird, und durch welche die zur Verbrennung erforderliche Luft einströmt. Soll der Ofen in Betrieb gesetzt werden, so zündet man zunächst auf der Ofensohle ein kräftiges Feuer an, bedeckt es mit einer Kalksteinschicht, der man immer abwechselnde Schichten von Brennmaterial und Kalkstein folgen läßt, bis der Ofen

[1]) Ein solcher Ofen ist abgebildet und beschrieben in Muspratt's technischer Chemie, bearbeitet von Kerl u. Stohmann. 1876, 3, 1467.

gefüllt ist. Die letzte Schicht Steine ist über der Gicht aufgehäuft, und an dem Einsinken derselben erkennt man das Fortschreiten des Brandes; das Einsinken rührt nicht nur von der Volumverminderung der Steine, sondern auch von dem Abbrennen der Kohlenschichten her. Hat die von unten nach oben fortschreitende Gicht die oberste Brennmaterialschicht erfaßt, so zieht man durch die Oeffnungen *b* gebrannten Kalk heraus; hierbei muß derselbe einen Rost *c* passiren, durch welchen die Kalkasche nach dem Raume *d* hindurchfällt, während der Stückkalk in die Räume *f* gelangt. Das Ziehen des Kalkes geschieht in regelmäßigen Zeitabschnitten. In dem Maße, als das Brennmaterial abbrennt und unten garer Kalk gezogen wird, sinkt der Inhalt des Ofens nieder, und in gleichem Maße werden durch die Gicht neue Schichten von Brennmaterial und Kalkstein aufgegeben; damit nicht Kalk außer der Zeit durch die Oeffnungen *b* herausfallen kann, werden dieselben durch Vorstellsteine oder durch in Angeln bewegliche Gitter geschlossen; hierdurch läßt sich auch der Zug vermindern. Im Anfange, wenn ein solcher Ofen in Betrieb gesetzt wird, muß das Brennmaterial in dickeren Schichten aufgegeben werden. Bei einem Ofen der angegebenen Dimensionen können in 24 Stunden gegen 8 cbm Kalk gezogen werden, wozu circa 40 Ctr. Kohlen verbraucht werden.

Kalköfen mit Gasfeuerung. Die Gasfeuerung, welche bei verschiedenen Industriezweigen und auch in Zuckerfabriken schon längere Zeit zum Kalkbrennen behufs Erzeugung von reinem Aetzkalk und reiner Kohlensäure in Anwendung ist, hat in neuerer Zeit auch in den Kalkbrennereien Eingang gefunden. Mit der Gasfeuerung sind verschiedene Vortheile verbunden, welche darin bestehen: dieselbe gestattet die Anwendung eines jeden Brennmaterials, mit Ausnahme stark backender Steinkohlen; bei derselben ist die Rauchverzehrung eine vollständige, wodurch Ersparniß an Brennmaterial eintritt und eine Belästigung der Nachbarschaft in keiner Weise stattfindet; ferner ist der erzeugte Kalk nicht durch Asche oder Schlacke verunreinigt und läßt sich der Betrieb wegen seiner Einfachheit leicht geregelt durchführen. Die ersten Versuche der Gasfeuerung zum Brennen des Kalkes wurden 1862 auf Veranlassung von Hans Siemens angestellt, der sich die Aufgabe gestellt hatte, die Verbrennungsluft vor ihrer Mischung mit dem Gase durch die gebrannte Kalkmasse zu leiten und damit einen doppelten Zweck zu erfüllen: nämlich die dem gebrannten Kalke innewohnende Wärme auf die Luft zu übertragen und denselben zugleich auf diese Weise abzukühlen [1]). 1864 errichtete F. Steinmann den ersten Gasofen für die Duxer Zuckerfabrik-Actiengesellschaft; seit dieser Zeit hat sich derselbe für die Zwecke der Zuckerfabrikation und der Kalkbrennerei mehr und mehr eingebürgert.

Fig. 16 und 17 veranschaulichen im Maßstabe von 1:100 einen Siemens-Steinmann'schen Gaskalkofen [2]), der mit Schachtgeneratoren versehen

---

1) Compendium für Gasfeuerung von Ferd. Steinmann. Freiburg 1868, Seite 96.

2) Die Bedeutung der Gasfeuerung und Gasöfen für das Brennen von Porcellan, Kalk 2c. von Stegmann. Berlin 1877, S. 178. Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1870, S. 327.

Fig. 16.

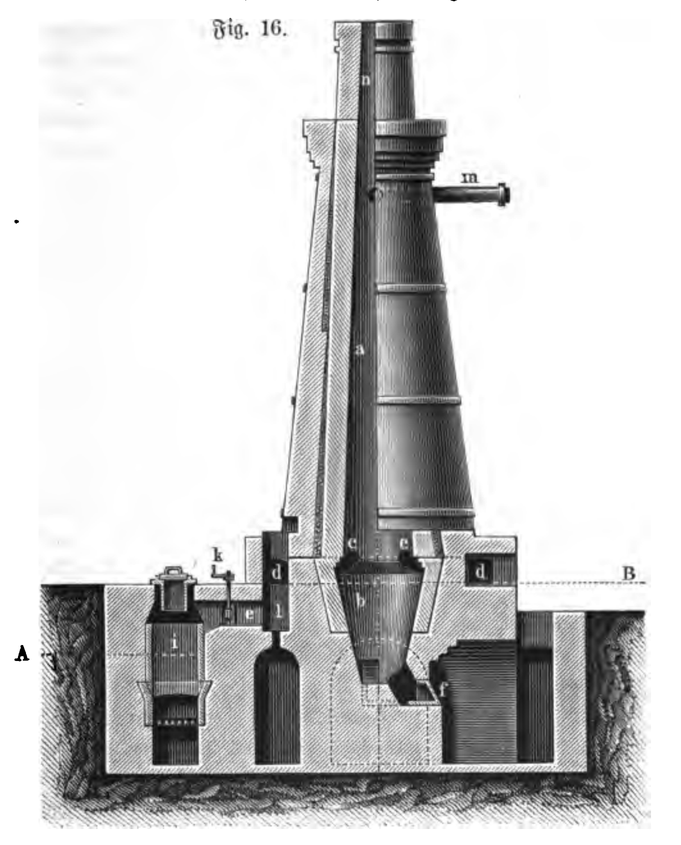
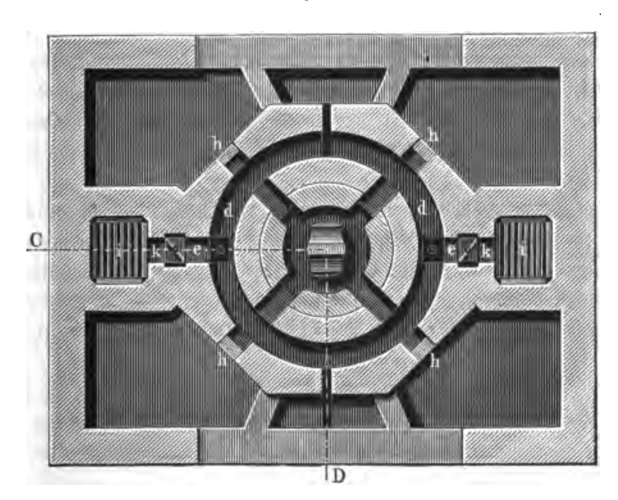


Fig. 17.



ist, welche die Vergasung von Braunkohle und Lignit (in durchschnittlich faustgroßen Stücken) ermöglichen. *a a* ist der Schacht, dessen innere, aus feuerfesten Steinen gebildete Wandung durch eine Sandisolirschicht von dem Mantel des Ofens getrennt ist; *b* ist die Rast, in welcher der bereits gebrannte Kalk steht, *c c* sind die Gasdüsen, welche mit dem Ringcanal *d d* in unmittelbarer Verbindung stehen und von den Oeffnungen *h h* aus gereinigt werden können. In den Ringcanal gelangt das Gas aus den Generatoren durch die Zuleitungscanäle *e e*, welche mit Schiebern *k k* versehen sind. An dem Punkte, wo die Canäle *e* in *d* aufsteigen, haben dieselben Oeffnungen *l*, durch welche Wasser und Theer in den Theersammler abfließen. Um die Ansammlung dieser Substanzen bei *l* zu befördern, hat der Ringcanal nach den Abflußöffnungen hin ein geringes Gefälle von etwa 78 mm; über dem Theersammler befinden sich Reinigungsöffnungen, welche in derselben Weise verschlossen sind wie die Fülltrichter der Generatoren. Die Thüren *f f*, durch welche der gebrannte Kalk abgezogen wird, haben jede vier bis fünf 25 mm weite Oeffnungen, durch welche die Verbrennungsluft in den Ofen dringt, die, indem sie den in der Rast stehenden glühenden Kalk passirt und diesen abkühlt, stark erhitzt wird, wodurch die Verbrennung eine sehr intensive wird. Mit Hülfe dieser Luftlöcher läßt sich die Flamme rasch und sicher reguliren. Je mehr Gas der Ofen empfängt, desto mehr Luft ist selbstverständlich erforderlich. Für die Absaugung der im Schachte aufsteigenden Kohlensäure dient das Rohr *m*, um dieselbe für die Zwecke der Rübenzuckerfabrikation zu gewinnen. Der Windfang *n* enthält die Beschickungsthür, durch welche Kalkstein in den Ofen gebracht wird.

Etwa alle zwei Monate ist eine Reinigung der Gascanäle, Klappen und Düsen nothwendig. Dies ist einfach dadurch zu bewerkstelligen, daß man die Generatoren bis nahe zur Glühschicht herunterbrennen läßt, damit sich der Theer entzündet. Hierbei sind die Reinigungsverschlüsse des Ringcanals sowie die Putzlöcher *h h* zu öffnen, durch welche man mittelst einer Krücke den Schmand aus den Düsen herauszieht; hierauf setzt man alles wieder in den vorigen Stand, füllt die Generatoren rasch und nimmt den Betrieb in gewöhnlicher Weise wieder auf.

Die in dem Ringcanale ersichtlichen Schieber sind dann einzusetzen, wenn man etwa auf einer Seite eine Reparatur vorzunehmen hat und die andere functioniren lassen will, oder auch bei sehr heftigem Winde, wodurch man verhindert, daß derjenige Generator, welcher der Wetterseite ausgesetzt ist, in der Gasentwickelung wesentlich gestört wird.

Je nach der Größe des Ofens kann man den Betrieb auf vier bis sechs Tage vollkommen suspendiren, ohne daß eine frische Anfeuerung nöthig wird; nur muß man zuvor die Generatoren ganz füllen, die Klappen fest schließen und die Luftlöcher gut verschmieren, sowie den Windfang bedecken. Bei Wiederaufnahme des Betriebes öffnet man alles, reinigt die Roste sorgfältig und füllt gleichzeitig die Generatoren.

Für die Inbetriebsetzung eines derartigen Kalkofens ist Folgendes zu bemerken. Bevor der Schacht mit Kalkstein gefüllt wird, muß man alle Theile des Ofens, also Generatoren, Canalsystem und Schacht mehrere Tage hindurch mittelst gelindem

Schmauchfeuer behufs Austrocknung ausheizen, um dem Mauerwerk thunlichst seine Feuchtigkeit zu entziehen. Es ist dies bei Gasfeuerungsanlagen um so nothwendiger, weil anderenfalls die Entzündung des Gasstromes nicht allein schwierig, sondern unter Umständen sogar unmöglich wird. Hat man die Ueberzeugung gewonnen, daß das Mauerwerk auf ungefähr 300 mm Tiefe trocken ist, so belegt man zuvörderst den Boden der Rast kreuzweis mit einer Schicht trockenen Holzes, darauf schüttet man circa 300 bis 500 mm hoch Kohlen oder Torf, alsdann die erste Schicht Kalkstein in gleicher Höhe und fährt mit dem Wechsel von Kohle und Kalkstein in gleicher Weise fort, bis etwa 600 mm über die Gasdüsen hinaus, von wo ab der Schacht bis zur Gichtmündung ausschließlich mit Steinen gefüllt werden kann. Innerhalb dieser Zeit sind auch die Generatoren zu beschicken. Man breitet zu dem Ende erst eine Schicht Hobelspäne auf den Rosten aus, legt darauf eine Lage gespaltenen Scheitholzes und beschüttet dieselbe bis zum Rande der Zargen mit dem zu verwendenden Brennmaterial. Bevor man das Feuer in den Generatoren in Gang bringt, muß die Gluth in dem Schachte bereits die unteren Schaubüchsen erreicht haben, denn nur dann wird die Entzündung des Gases eine zweifellose und constante sein. Das erste Kalkziehen nimmt man etwa 3 Stunden nach Zutritt des Gases vor und von da ab regelmäßig in Pausen von $1^1/_2$ bis 3 Stunden; nach jedem Abzuge füllt man durch die Gicht wieder Kalksteine nach.

Nach Cech[1]) betragen die Erbauungskosten eines Steinmann'schen Gasofens für 80 Ctr. täglicher Kalkproduction 5000 Mk. und erzielte man 100 kg gut gebrannten Kalk mit 80 kg Braunkohle; bei neueren Oefen fiel der Brennstoffbedarf auf 50 Proc. Braunkohle.

An dem Steinmann'schen Gaskalkofen sind von Anderen Veränderungen angebracht worden. Hobek[2]), welcher die nahe Lage des Gascanals am Ofenschachte für fehlerhaft hält, weil die Zwischenwand durch die hohe Temperatur des Ofens leicht rissig wird, so daß dann Luft in den Gascanal eindringen kann, hat letzteren weiter vom Ofen entfernt angelegt. Außerdem hat derselbe den Unterbau des Ofens durch eine veränderte Construction der Abziehöffnungen für den gebrannten Kalk vereinfacht und das Ableitungsrohr für die Kohlensäure unmittelbar an der Gicht des Ofens aufgesetzt.

Ein dem Steinmann'schen Ofen sehr ähnlicher Gasofen zum Kalkbrennen ist auch von H. Frühling[3]) beschrieben.

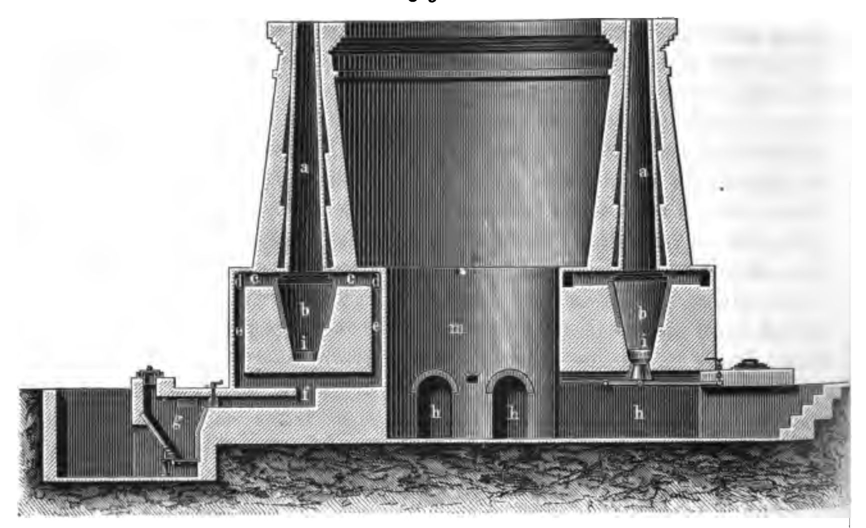
Da bei einem Schachtofen mit seitlicher Einführung des Gases die Gasflamme vorzugsweise ganz in verticaler Richtung sich entwickelt, so darf, wie Steinmann selbst durch praktische Untersuchungen festgestellt, ein gewisses Maß des Schachtdurchmessers, nämlich 1,57 m, nicht überschritten werden; es ist deshalb die tägliche Production dieser Oefen auf ein Quantum von 100 Centner gebrannten Kalkes beschränkt. Steinmann hat daher für eine größere Production einen

---

[1]) Dingl. pol. J. 198, 501.
[2]) Wagner's Jahresber. d. chem. Technologie 1874, S. 616.
[3]) Notizblatt des deutschen Vereins f. Fabrikation von Ziegeln, Thonwaaren, Kalk und Cement 1870, S. 276.

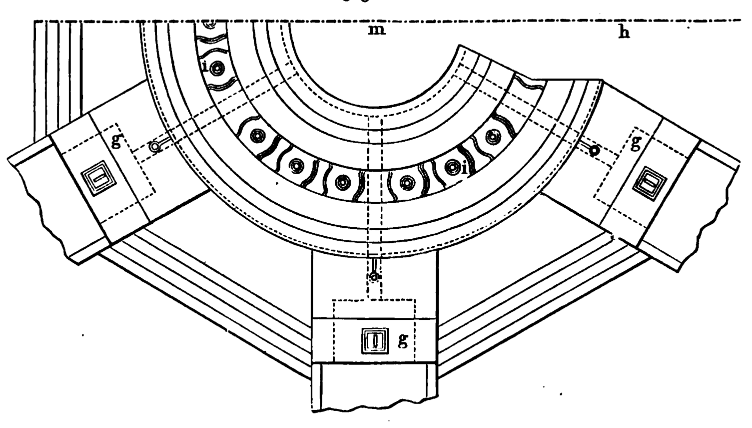
sogenannten Basteiofen construirt, der in Fig. 18 und 19 dargestellt ist[1]). *a a* ist der ringförmige Schacht, in welchem der Kalkstein gebrannt wird, *b b* die

Fig. 18.



sich anschließende Rast, in welcher der gar gebrannte Kalk liegt, *g* die Gaserzeuger oder Generatoren, *f* die Gasleitung, *e* die Zweigcanäle, *d* die Ringcanäle, aus

Fig. 19.



denen in entsprechender Vertheilung die Düsen *c* auf der ganzen Peripherie in den Schacht einmünden; *i* sind die mit einem scharfgebrannten Chamotteconus

[1]) Dingl. pol. J. 220, 152. Wagner's Jahresber. d. chem. Technologie 1876, S. 676.

verschließbaren Abzüge für den gebrannten Kalk. Den Conus dirigirt man mittelst eines Hebels in der Weise, daß man je nach dem größeren oder geringeren Bedarf an Verbrennungsluft, welche eben ihren Weg durch *i* zu nehmen hat, denselben mehr oder weniger scharf anpreßt. Um einer vorzeitigen Abnutzung der Passagen *i* vorzubeugen, sind diese, wie Fig. 18 zeigt, mit starken gußeisernen Trichtern ausgefüttert. Die Verbrennungsluft nimmt Wärme aus dem in der Rast *b* stehenden garen Kalke auf und vereinigt sich mit dem den Düsen entströmenden Gase zur Flamme; sie erfüllt also gleichzeitig zwei Zwecke; sie heizt sich selbst vor und entzieht damit dem gebrannten Kalke die hohe Temperatur, so daß derselbe ohne Weiteres verladungsfähig ist.

Unter den sechs Einfahrten *h* gelangt man nach dem inneren Raume *m*, welcher als Stapelplatz für den Kalkstein dienen kann, von wo aus letzterer durch geeignete, von dem Podium *l* aus betriebene Hebevorrichtungen bequem und schnell nach der Gicht befördert werden kann. Die Passagen oder Trichter *i* sind übrigens durch sattelförmige Schiede von einander getrennt, so daß damit ein constantes Rollen des gebrannten Kalkes nach links und rechts ermöglicht wird. Der Basteiofen ist leicht auf eine Production von 1500 Ctr. Aetzkalk pro 24 Stunden zu bringen. Bei demselben kann die kreisrunde Form des Ofens unbedenklich durch eine elliptische ersetzt werden. Der Betrieb dieses Ofens ist derselbe, wie bei dem auf Seite 27 abgebildeten, nur ist hier auf die Gewinnung von Kohlensäure für Zwecke der Rübenzuckerfabrikation keine Rücksicht genommen.

Eine einfache Kalkofenconstruction für Gasfeuerung, wie sie in Fig. 20 und 21 dargestellt ist, wurde von dem schwedischen Ingenieur Otto Fahnehjelm mehrfach in Schweden ausgeführt[1]). Dieser Ofen besteht aus einem Schacht, der von oben bis unten sich erweitert, um das Niedergehen des Kalkes zu erleichtern. Für größere Oefen ist es vortheilhaft, den Querschnitt rund zu machen, den kleineren dagegen giebt man zweckmäßig eine rectanguläre Form mit schwach gewölbten Seiten. Die Feuerheerde sind durch einfache Generatoren ersetzt; die hier gebildeten Gase werden durch 2 Canäle von jedem Generator in den Ofen geleitet und verbrennen hier zwischen dem Kalkstein, gemischt mit der von unten kommenden Luft, die durch die gebrannte Steinmasse passirt und bis zur Glühhitze vorgewärmt worden ist; den Luftzutritt kann man durch Schraubventile reguliren. Bei dem abgebildeten Ofen befinden sich 6 Feuerplätze mit 12 Feuercanälchen, wodurch das Feuer soweit wie möglich im Ofen verbreitet wird, und wodurch verhindert wird, daß sich todte Ecken im Ofen bilden können; die Gefahr, ungare Steine zu bekommen, wird hierdurch sehr vermindert, was überhaupt bei diesen Anlagen nie vorkommt; durch die Benutzung von Gasfeuerung kann man auch ein werthloses Brennmaterial anwenden, so hat Fahnehjelm Oefen angelegt, die nur mit Sägemehl gefeuert werden.

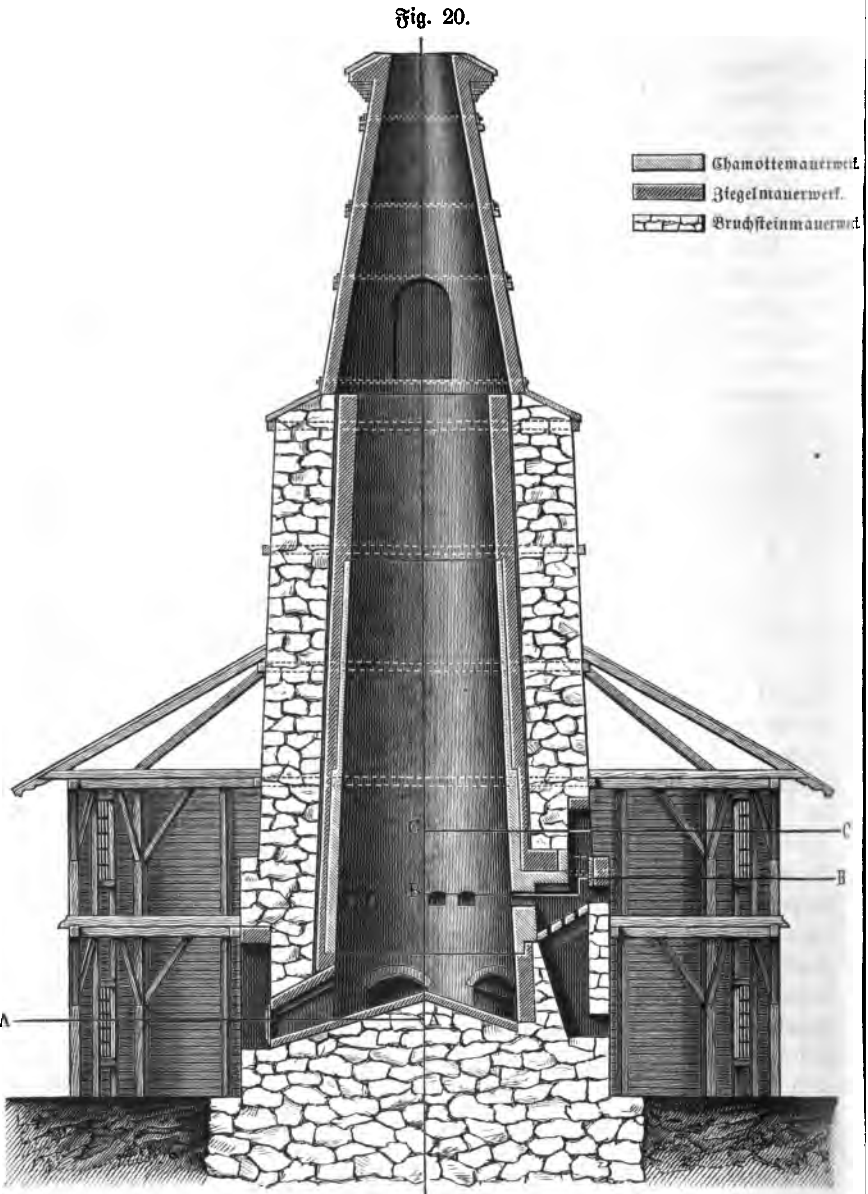
Um den Ofen vor dem Einfluß des Windes zu schützen, wird derselbe mit einem 6 bis 9 m hohen Schornsteine versehen, wodurch auch der Zug bedeutend verstärkt wird. Wenn der Ofen im Brande ist, so kann man ihn continuirlich

---

[1]) Dingl. pol. J. 222, 151.

jede Stunde ziehen. Um die Kosten der theuren Chamottesteine zu sparen, baut *Fahnehjelm* den Schacht doppelt und nimmt nur den inneren Theil von

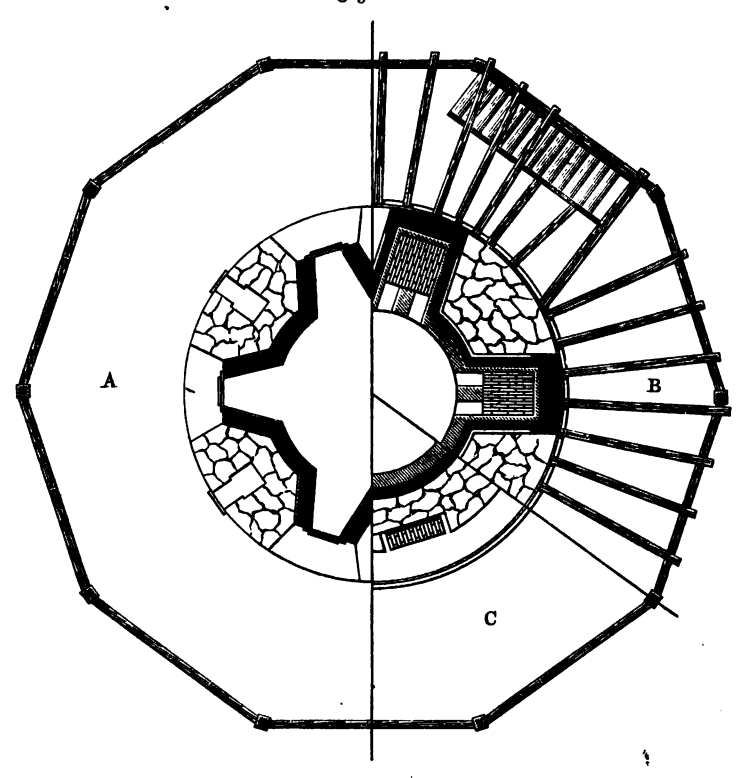
Fig. 20.



Chamotte, der nur etwa 2 m über die Feuercanäle einen Stein stark und von da bis circa 2,5 m von oben $^1/_2$ Stein stark gemacht wird. Der oberste Theil wird

von gut gebrannten Mauersteinen gebaut. Hinter dem Kernschacht kommt eine Mauer von $1/2$ bis 1 Steinstärke und zwischen diesem und der Futtermauer, die wenn möglich von Bruchsteinen gebaut wird, läßt man einen Zwischenraum, der mit Sand ausgefüllt wird. Diese Oefen eignen sich auch zum Cementbrennen.


Fig. 21.



Der hier beschriebene Ofen liefert in 24 Stunden 15 bis 20 cbm Kalk; für je 10 cbm gebrannten Kalk sind im Durchschnitt 9,37 cbm lose aufgestapeltes Holz nothwendig; derselbe soll gegenüber dem Rüdersdorfer Ofen eine Ersparniß von 50 Proz. an Brennmaterial ergeben.

In Rüdersdorf wurden ebenfalls Versuche gemacht, die Rumford'schen Kalköfen statt mit directer Feuerung (s. Fig. 11) mit Gasfeuerung zu betreiben, welche keine ungünstigen Resultate ergaben[1].

Die bis jetzt vorzugsweise angewendeten schachtförmigen Brennöfen mit seitlichen Feuerungen leiden an dem Uebelstande, daß die in den Ofen eintretende Flamme kurz nach dem Verlassen der Feuercanäle in verticaler Richtung abzubiegen und möglichst nahe den Wänden des Ofens in diesem aufzusteigen sucht.

[1] Hausding, Thonind.-Ztg. 1877, Nr. 31.

Die Folge hiervon ist, daß die Intensität der Flamme nach dem Centrum des Ofens hin immer schwächer werden und endlich ein Punkt vorhanden sein muß, welcher von der Flamme überhaupt nicht mehr berührt wird. Hieraus ergeben sich bestimmte und zwar verhältnißmäßig sehr enge Grenzen für den Horizontalquerschnitt der Schachtöfen in der Ebene der Feuerungen, die nicht überschritten werden dürfen, wenn man nicht Gefahr laufen will, eine größere Quantität ungaren Kalkes zu produciren. Bei Schachtöfen mit eingeschichtetem Brennmaterial fällt dieser Uebelstand fort. Am meisten aber zeigt er sich bei Schachtöfen, welche mit Gas befeuert werden, weil hier die Flamme noch viel energischer auftreibt als bei Oefen mit directer Feuerung. Während man diesen in der Höhe der Feuerungen eine Maximalweite von etwa 2,8 m geben darf, hat Ferd. Steinmann gefunden, daß man bei Gasschachtöfen nicht über 1,5 m gehen darf. Durch den geringen Querschnitt wird aber die Leistungsfähigkeit eine beschränkte, während sie doch bei nahezu gleichbleibenden Baukosten wesentlich größer sein könnte, wenn man die Flamme mehr in horizontaler Richtung in die Kalksäule einleitet. Man versuchte es durch Pressung der Flamme mittelst Gebläse, aber der Kieselsäure und Thon enthaltende Kalk wurde namentlich da, wo der gepreßte Flammenstrahl in den Ofen eintrat, in Folge von Silicatbildung todtgebrannt.

Von einem anderen Gesichtspunkte aus ging Jean Adrien Verkonteren in Amsterdam, der mittelst einer ihm patentirten Vorrichtung (D. R.-P. Nr. 1000) die Flamme nach der Mitte des Ofens zu saugen sucht[1]). Es besteht diese Vorrichtung in einem gußeisernen Rohre, das der Länge nach mit sectorförmigen Vorsprüngen versehen und inmitten des Ofenschachtes vertical so aufgehängt ist, daß es auf etwa $^2/_3$ der Höhe des Schachtes in diesen hinabreicht. In den Vorsprüngen des Rohres sind zahlreiche, angemessen vertheilte Oeffnungen angebracht, welche den Gasen freien Durchgang in das Zugrohr und von dort in dessen schornsteinähnlichen Aufsatz gestatten und zugleich die Hitze nach der Mitte des Ofens leiten. Das im Schachte herabhängende Zugrohr verengt sich nach unten, damit es von den herabgleitenden Kalkmassen nicht mitgerissen wird und ist an der mit eisernen Platten verschlossenen Gicht zweckentsprechend befestigt. In dem aus Blech construirten Schornstein ist eine Drosselklappe angebracht, mittelst welcher der Zug regulirt wird. An Einfachheit läßt diese Vorrichtung nichts zu wünschen übrig, fraglich ist es aber, ob das Verfahren praktisch durchführbar ist, und ob endlich nicht dadurch die heißen Gase nicht mehr allein inmitten der Kalksäule, sondern vorzugsweise durch das Zugrohr aufsteigen.

Ernst Ziegler in Heilbronn[2]) ließ sich Neuerungen an Schachtöfen mit directer und Gasfeuerung patentiren (D. R.-P. 12 592), welche gleichfalls bezwecken, daß der Kalk auch in der Mitte des Schachtes gar gebrannt wird; derselbe erreicht dieses, daß er in der Mittelachse des Schachtes hohle Säulen, gewissermaßen Schlöte errichtet, welche in verschiedenen Höhen durch Schlitze mit dem

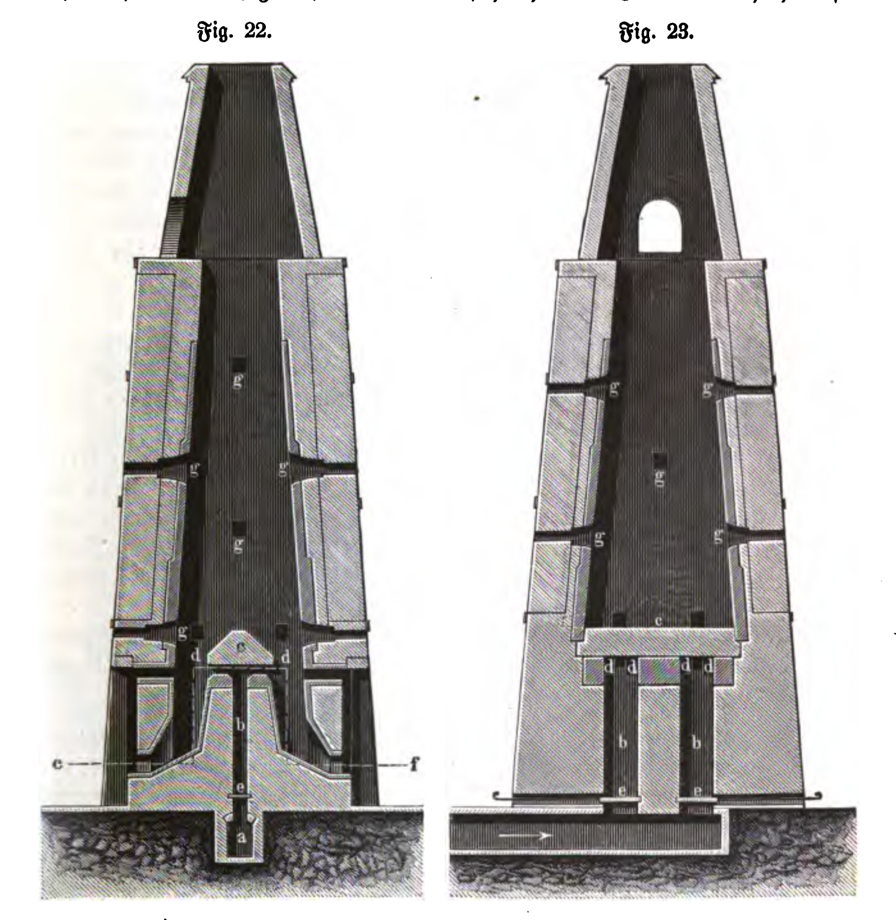
---

[1]) Zeitschr. f. d. gesammte Thonwaarenindustrie 1878, S. 470.
[2]) Notizblatt f. Fabrikation v. Ziegeln, Thonwaaren ꝛc. 1881, S. 149.

Brennraume in Verbindung stehen, wodurch ein Zug der Feuergase nach der Mitte des Ofens herbeigeführt werden soll. Die Dauer der Säulen dürfte nur eine sehr geringe, die Erhaltungskosten derselben daher nicht unbedeutend sein.

Dem oben bezeichneten Uebelstande bei seitlicher Einführung des Gases hat C. Rehse in Dresden [1]) abgeholfen, indem er den Kalkofen so baut, daß das Gas von unten im Mittelpunkte des Schachtes eintritt. Die Einrichtung dieses Ofens ist aus den Fig. 22, 23 und 24 ersichtlich. Die Form des Schachtes ist

Fig. 22. Fig. 23.

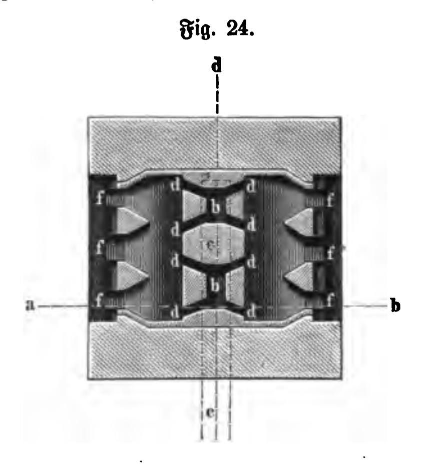


viereckig, doch läßt sich derselbe auch oval oder mit gebrochenen Ecken ausführen. Die Zuführung des Gases von den Generatoren zum Ofen geschieht durch den Canal *a*, es können daher die Generatoren beliebig weit vom Ofen entfernt angelegt werden. Vom Gascanal *a* zweigen sich die verticalen Canäle *b*, *b* ab, welche in einem die Mitte des Ofens einnehmenden Sattel *c* aufsteigen, aus

[1]) Dingl. pol. J. 220, 429.

welchem das Gas durch die Oeffnungen *d, d* in den Ofen einströmt. Zum Reguliren des Zuges dienen die in *b, b* befindlichen Schieber *e, e*, während die Menge der einzulassenden Verbrennungsluft, die durch die Abzugsöffnungen für den Kalk *f, f* eintritt, hier regulirt wird.

Fig. 24.



In der Höhe der Oeffnungen *d, d* findet durch die Berührung des Gases mit der von unten aufsteigenden Luft, die sich an dem gebrannten Kalke erhitzt, die Verbrennung statt; in der hier begrenzten Verbrennungszone vollzieht sich eine sehr gleichmäßige Vertheilung der Flamme, so daß der hier passirende Kalk gleichmäßig gar gebrannt wird. Die in den Mauern angebrachten Oeffnungen *g, g* haben den Zweck, etwa sich festklammernde Kalksteine abstoßen zu können. Der Sattel *c* hat neben der hohen Temperatur auch einer starken Abnutzung durch den an demselben heruntergleitenden Kalkstein zu widerstehen, zu welchem Zwecke derselbe stark construirt werden muß.

Der Rehse'sche Ofen hat vom Sattel bis zur Gicht eine Höhe von 10 m, einen Durchmesser in der Ebene des Sattels von 3,90 auf 3,20 m und an der Gicht 2,26 auf 2,0 m; er faßt etwa 150 cbm Kalkstein, welches Quantum leicht auf 200 bis 250 cbm vergrößert werden kann, ohne daß die Gleichmäßigkeit des Brandes eine Beeinträchtigung erfährt und die Anlage und Betriebskosten sich im Verhältniß zu der größeren Leistungsfähigkeit steigern.

Ein Schachtofen zum Brennen von Kalk für ununterbrochenen Betrieb mit Gasfeuerung ist auch von R. J. Schmutzler in Wolgast (D. R.-P. Nr. 4690 vom 16. August 1878) construirt worden[1]).

Bei den Schachtöfen mit seitlicher Feuerung, sei diese entweder eine directe wie bei dem Rumford'schen (Rüdersdorfer) Ofen, oder mit Gas, wie bei dem Steinmann'schen Ofen, darf aus oben angeführten Gründen ein gewisses Maß für den Durchmesser des Schachtes nicht überschritten werden und ist daher die Leistungsfähigkeit dieser Oefen eine eng begrenzte. Besser sind schon die Resultate bei den Oefen, bei welchen das Gas von unten in den Schacht eingeleitet wird.

Eine noch größere Leistungsfähigkeit kann aber erreicht werden, wenn der Schachtofen so construirt ist, daß gleichzeitig brennbare Gase in die Achse des Schachtes eingeführt werden und an den Wandungen des letzteren directe Feuerungen angebracht sind.

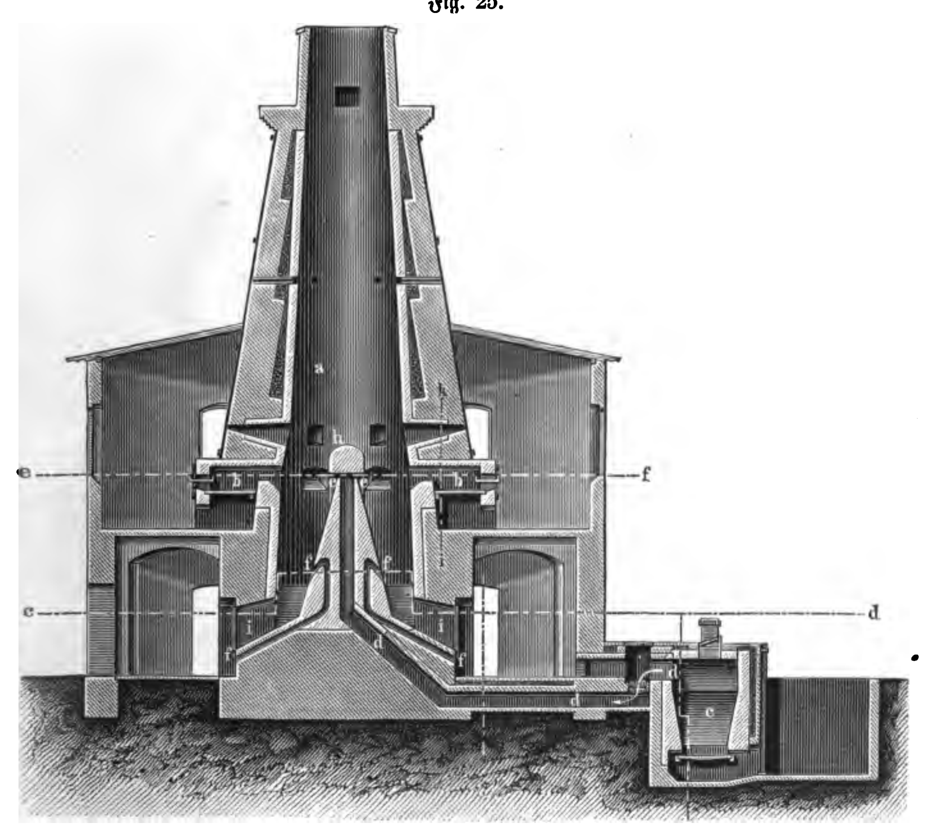
---

1) Dingl. pol. J. 242, 273.

Eine derartig **combinirte Feuerung** von Schachtöfen zum Brennen von Kalk ist in neuester Zeit dem Civilingenieur **Georg Mendheim** in München patentirt und von demselben auch bereits ausgeführt worden. Aus den Fig. 25, 26 und 27 ist ersichtlich, in welcher Weise dies bewerkstelligt wird.

a ist der **Ofenschacht**, *b b* die directen Feuerungen in der Ofenwandung, *c* der Gasgenerator, aus welchem die brennbaren Gase durch den Canal *d* in den Ofen steigen und dort durch die Oeffnungen *e, e, e* austreten. Insofern es nöthig

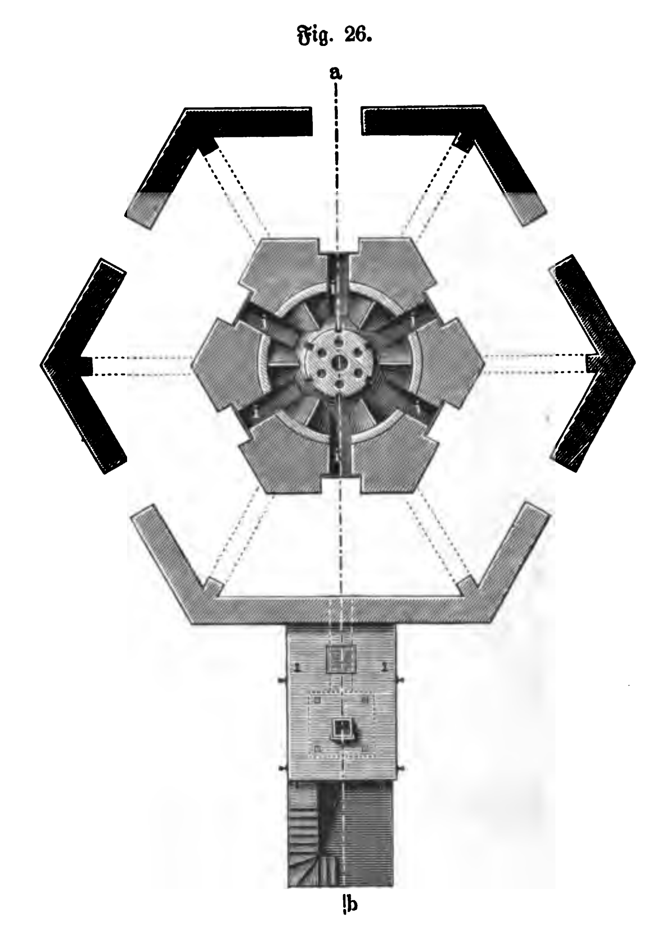
Fig. 25.



ist, wird die Luft zur Verbrennung des Gases durch die eisernen Röhren *f, f, f* eingeführt, welche unterhalb *e, e, e* in den gebrannten Kalk einmünden und dort eine Form erhalten, welche ihre Verstopfung durch letzteren verhindert. Der senkrechte Theil der Gasleitung *d* befindet sich in einem gemauerten Kegel und ist oben mit einer Haube *h* aus feuerfestem Material geschlossen, welche ebenso wie der Kegel so kräftig construirt sein muß, daß Stöße und Reibung durch den herabfallenden und herabgleitenden Kalk eine vorzeitige Beschädigung oder Abnutzung dieser Theile nicht herbeiführen. *i i, i* sind die Abzugsöffnungen für den gebrannten Kalk.

In einem derartigen Ofen mit combinirter Feuerung, wie er in München zum Brennen von Lesekalk aus der Isar in Anwendung ist, wird während 24 Stunden dreimal aus den sechs Abziehöffnungen der Kalk ausgezogen. Die tägliche Production beträgt 20 cbm und werden auf je 100 Gewthle. Aetzkalk 35 bis 40 Gewsthle. Brennmaterial verbraucht.

Fig. 26.



Selbstverständlich ist, daß an die Stelle der directen Feuerungen an den Wänden des Schachtes *b, b* Gasfeuerung treten kann und es sind dann lediglich Canäle nothwendig, welche das außerhalb des Ofens erzeugte Generatorgas an denselben Stellen in den Ofen einführen, wo die Flamme bei Anwendung direct in der Wandung liegender Feuerungen eintreten würde. Das Generatorgas für die in der Wandung befindlichen Feuerungen kann entweder demselben Gaserzeuger entnommen werden, welcher das Mittelfeuer des Ofens speist, oder einem besonderen Gaserzeuger.

Der **Kalkofen** von J. R. **Swann** in Edinburg[1]) beruht auf der Anwendung des circulirenden Rostes und wird zugleich mit heißer Luft gespeist.

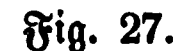
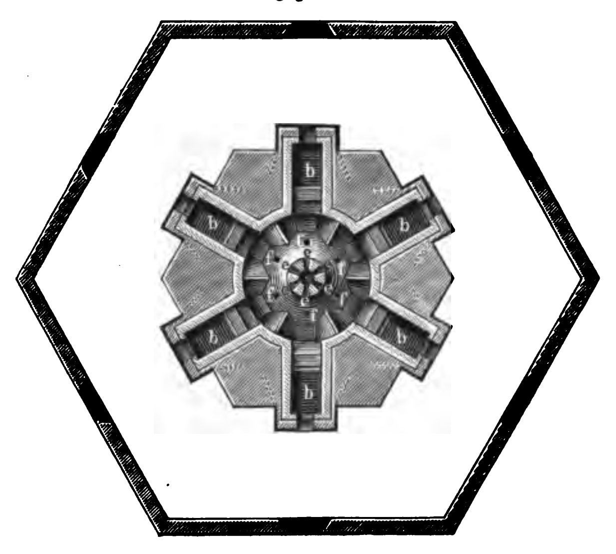


Fig. 27.



Die Anlage ist derartig, daß die heiße Luft aus dem unteren Theile einer Ofenabtheilung in den oberen Theil der nächstfolgenden übergeführt wird, sie verjagt zunächst die Feuchtigkeit und bewirkt darnach das Brennen des Kalksteins in kurzer Zeit und mit großer Ersparniß an Brennmaterial.

Fig. 28.

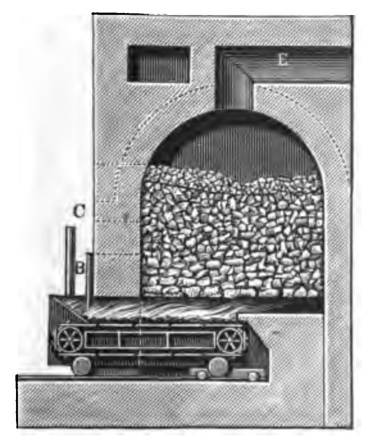


Fig. 28 zeigt einen Verticaldurchschnitt eines Ofens, Fig. 29 (a. f. S.) einen verticalen Längendurchschnitt, Fig. 30 einen horizontalen Querschnitt eines Systems von 14 Oefen. Jeder Ofen hat einen Rost *A*, eine Feuerungsthür *B* und eine Thür *C* zur Beschickung und zum Herausziehen des gebrannten Kalkes. Jeder Ofen steht mit dem folgenden durch einen Canal *D* in Verbindung, welcher in dem einen Ofen unter dem Gewölbe, in dem anderen an der Sohle einmündet. Ein zweiter mit verschließbarem Register versehener Canal *E* führt von dem Gewölbe jedes Ofens nach dem Schornstein. Die Luft wird wie für die Hohöfen erhitzt

---

1) Polyt. Centralbl. 1870, S. 122.

und dem Ofensystem durch ein Hauptrohr *F* zugeleitet, an welches die nach den einzelnen Ofenabtheilungen führenden Zweigrohre *H* sich anschließen. Ist ein

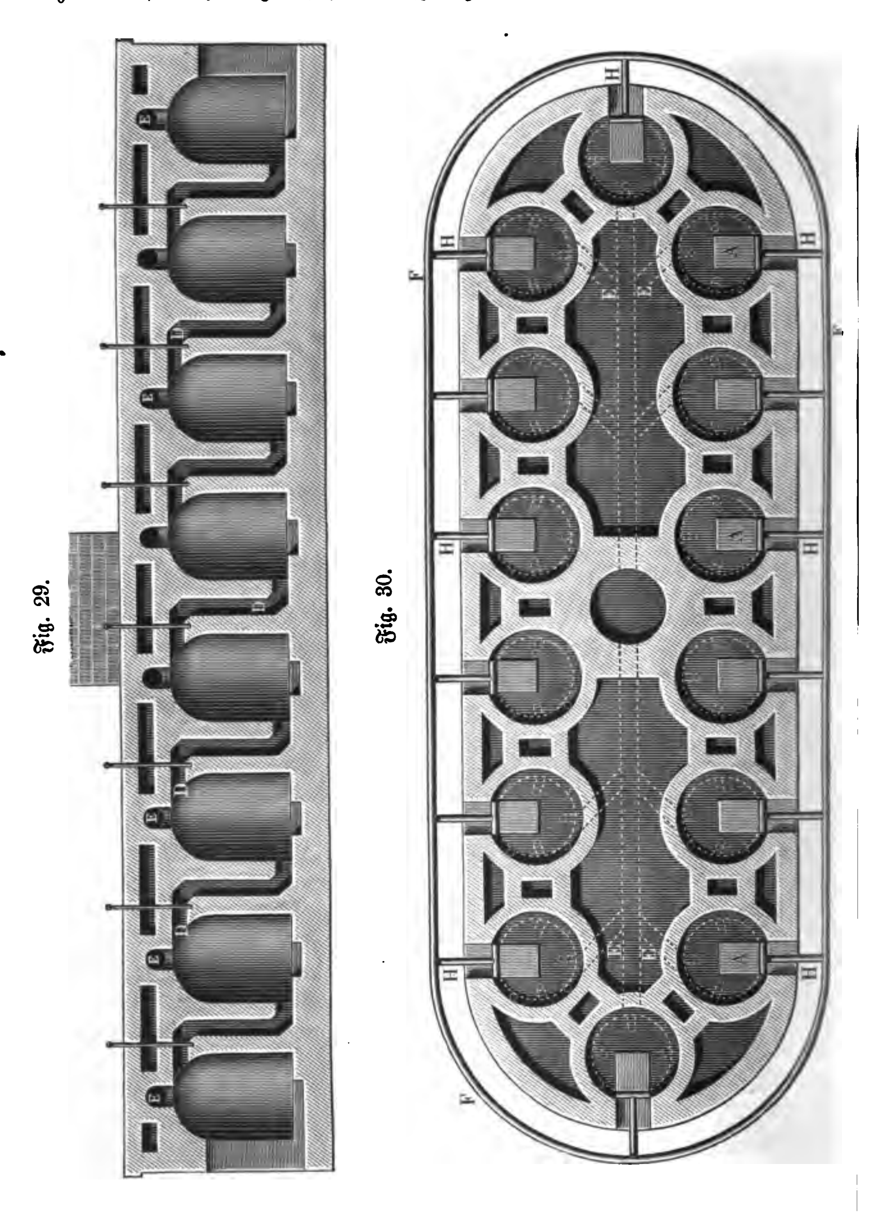


Fig. 29.

Fig. 30.

Ofen mit Kalksteinen beschickt, so führt man durch Oeffnen des Canals *H* warme Luft in denselben ein, welche alle Feuchtigkeit durch den Canal *E* nach dem

Schornstein treibt. Ist der Ofeninhalt trocken, so zündet man das Brennmaterial auf den Rosten an, schließt den Canal *E* und öffnet den Canal *D*, so daß die durch diesen Canal abziehenden Feuergase die nächste Ofenabtheilung heizen.

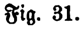
Beim Kalkbrennen in diesem Ofen hat sich ergeben, daß man mittelst auf 200° erhitzter Luft einen Ofen von 46 m in 12 Stunden unter Verbrauch der Hälfte des gewöhnlich erforderlichen Brennstoffes anheizen kann, ohne daß das Material zerspringt. Durch Anwendung der Dämpfe von Petroleum oder anderen ähnlichen Flüssigkeiten, welche man mit der heißen Luft zuführt, entwickelt man eine intensive Hitze, welche unter Ersparniß von Brennmaterial die Production außerordentlich beschleunigt.

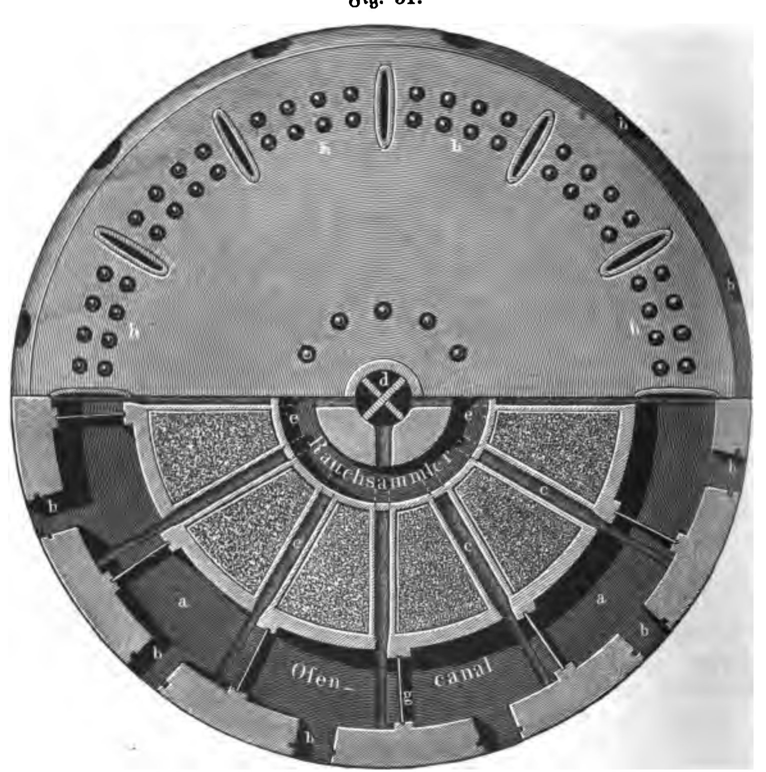
Die Beschickung des Rostes regulirt sich von selbst und bedarf nur sehr geringer Beaufsichtigung. Das Brennmaterial wird auf einen Fülltrichter gegeben und aus diesem durch eine zu regulirende Oeffnung einer Kette von Eisenstäben zugeführt, die einen cirkulirenden Rost ohne Ende bilden, auf welchem die Verbrennung erfolgt. Je nachdem eine vor der Oeffnung befindliche Thür *B* weiter in die Höhe gezogen oder herabgelassen wird, gelangt mehr oder weniger Brennmaterial auf den Rost. Dieser circulirt im Ofen von vorn nach hinten mit solcher Geschwindigkeit, daß das Brennmaterial auf demselben in dem Augenblicke consumirt ist, in welchem es an dem hinteren Ende des Ofens ankommt. Asche und Schlacken fallen hier in einen Aschenfall oder in einen auf Rädern stehenden Kasten, welcher in den Aschenfall eingeschoben ist. Der Rost ohne Ende wird am vorderen und hinteren Umkehrungspunkte durch Cylinder getragen und ist zwischen diesen durch Rollen gestützt. Der vordere Cylinder wird durch eine Kraftmaschine in Rotation gesetzt und überträgt die Bewegung auf den Rost; übrigens ist hierzu wenig Kraft erforderlich.

Alle vergasbaren Bestandtheile des Brennmaterials werden am vorderen Ende des Rostes vergast, und die Destillationsproducte werden, indem sie über den glühenden Coaks auf dem hinteren Theile des Rostes hinziehen, vollkommen verbrannt; daher kann Ruß weder zu den Kalksteinen gelangen, noch aus dem Ofen entweichen. Andererseits ist der Rost nirgends von Brennmaterial entblößt, und eine Verstopfung desselben kann nicht eintreten; er entledigt sich der Schlacken, sobald alle Gase consumirt sind. Die ganze Arbeit des Heizers beschränkt sich auf das Beschicken des Füllungstrichters, das Entfernen der Asche und Schlacken und zeitweiliges Reguliren der die Speisung des Rostes vermittelnden Oeffnung. Klare Kohle kann ebenso gut als Stückkohle in dem Ofen Verwendung finden. Gegenüber den gewöhnlichen Kalköfen gewährt dieser Ofen 20 Proz. Ersparniß an Brennmaterial.

Kalkringofen. Von großer Wichtigkeit für das Kalkbrennen ist in neuerer Zeit der Ringofen von Fr. Hoffmann und Licht geworden. Derselbe unterscheidet sich von den gewöhnlichen Kalköfen dadurch, daß er horizontal arbeitet. Derselbe kann angesehen werden als ein System von mehreren, gewöhnlich 12, periodisch arbeitenden Oefen, welche aber so an einander gereiht sind, daß sie einen Ring bilden. Die Scheidewände, welche die einzelnen Oefen von einander trennen, sind beweglich, dadurch bildet das ganze Ofensystem einen einzigen

in sich zurückkehrenden Ofencanal, der sich aus mehreren Abtheilungen zusammensetzt. Ein großer Vortheil des Ringofens besteht darin, daß die heißen Feuergase aus einer im Brande befindlichen Ofenabtheilung nicht direct ins Freie gelangen, sondern eine Anzahl bereits mit Kalkstein beschickter Ofenabtheilungen durchlaufen müssen, ehe sie durch den Schornstein entweichen. Dadurch wird der größte Theil der den Feuergasen anhaftenden Wärme zum Austrocknen und Vorwärmen der demnächst zu brennenden Kalksteine nutzbar gemacht. Auf der anderen Seite muß die zur Unterhaltung der Verbrennung erforderliche Luft, bevor sie in die im


Fig. 31.



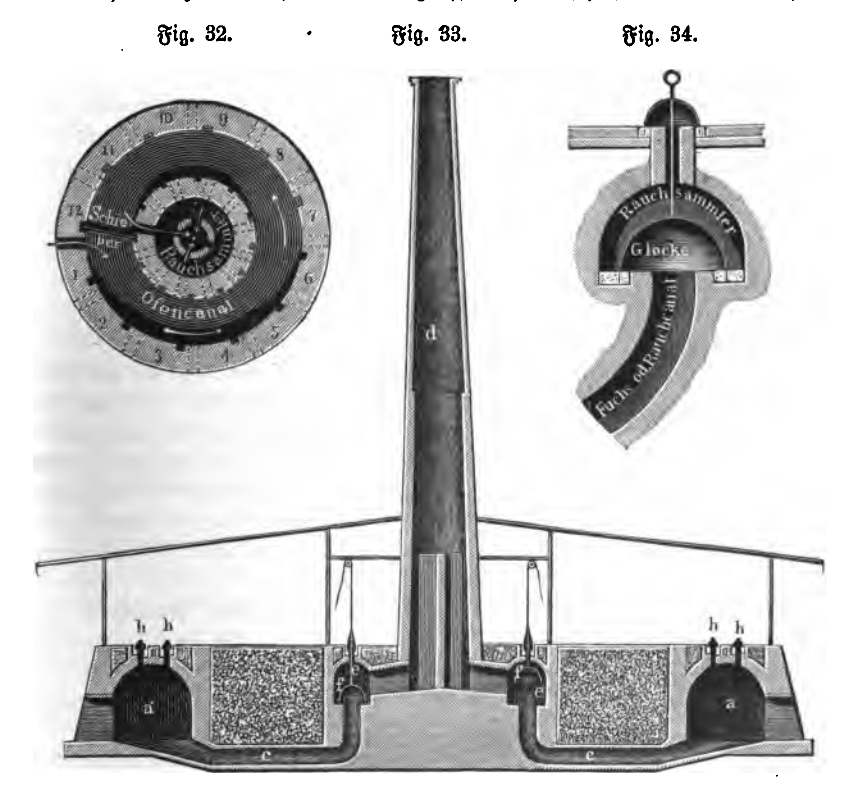
Brande befindliche Abtheilung eintritt, eine Anzahl anderer Ofenabtheilungen durchlaufen, die mit unmittelbar zuvor gar gebranntem, also noch heißem Kalke, angefüllt sind; die Wärme des letzteren geht demnach nicht verloren, sondern wird zum Vorwärmen der Luft benutzt.

Die specielle Construction eines Ringofens zeigen Fig. 31, zur Hälfte obere Ansicht, zur Hälfte Grundriß, Fig. 32 ein kleiner Grundriß des Ofens, das Princip erläuternd, Fig. 33 ein senkrechter Durchschnitt.

a, der ringförmige Ofencanal, in welchen die zu brennenden Steine kommen, ist an verschiedenen Stellen vermittelst Thüren (Einfahrten) von außen *b* zugäng-

lich und beschickbar und durch Schieber *g*, die durch Falze eingesetzt sind, in einzelne Abtheilungen getheilt, deren jede durch einen unterirdischen Canal *c* mit dem ringförmigen Rauchsammelcanal *e* communicirt, welcher nach dem Schornstein *d* fortwährend offen ist. Die Canäle *c* lassen mittelst hermetisch schließender Glocken *f* den Zusammenhang zwischen den Abtheilungen und dem Rauchsammler *e* unterbrechen, Fig. 34. Die Einfahrten *b* können mittelst lose aus Chamottesteinen aufgesetzter Wände, Sand und in einen Falz herabzulassender Einsatzbretter oder auch einer zweiten losen Wand möglichst dicht verschlossen werden. Außer-

Fig. 32. Fig. 33. Fig. 34.



dem ist der Ofen durch Ummauerung und durch Umhüllung mit Asche oder Sand geschützt und diese Umhüllung hindert auch jedwedes Eindringen von Nebenluft durch etwa sich bildende Spalten und Haarrisse.

Die Befeuerung des Ofens geschieht von oben mittelst Einstreuens des Brennmaterials zwischen die glühenden Steine, wozu senkrechte Canäle, Heizröhren *h*, im Gewölbe des Ofens vorhanden sind. Diese sind in kurzer Entfernung von einander angebracht und können durch Deckel, welche die Controle des Feuers auf jeder Stelle des Ofens gestatten, hermetisch verschlossen werden. Ueber diejenigen Oeffnungen, durch welche gefeuert werden soll, können blecherne, mit dem Brennstoffe gefüllte, trichterförmige, nach unten offene Gefäße aufgestellt

werden, aus denen das Brennmaterial ununterbrochen oder stoßweise nachfällt. Fein zertheilte, also staub- oder grusförmige Brennstoffe sind die vortheilhaftesten, nicht allein wegen der durch die Construction des Ofens gebotenen Art und Weise der Verwendung des Brennstoffes, sondern auch weil ihre Zersetzung in gasförmige Producte am schnellsten erfolgt. — Die Steine unter den Löchern werden so eingesetzt, daß in verschiedenen Höhen des Ofencanals ein Theil des Brennmaterials liegen bleibt und zur Verbrennung gelangt oder dasselbe bis zur Ofensohle frei herabfällt. Die Schieber *g* von dünnem Eisenblech oder Holz mit Blech beschlagen, lassen sich durch mit hermetisch schließenden Deckeln versehenen Schlitze *g* von oben oder durch die Thüren von der Seite einbringen; auch kann man die Schlitze durch Steine, Lehm oder Sand abdecken und verschließen.

Denkt man sich den mit Kalksteinen besetzten Ofencanal *a* mittelst eines Schiebers, Fig. 32, an irgend einer Stelle geschlossen, die zunächst davor liegende Einsatzthür und den zunächst dahinter liegenden Rauchcanal geöffnet (die Pfeile zeigen beide an), alle übrigen Eingänge und Rauchcanäle aber geschlossen, so wird durch den Luftzug im Schornsteine durch die offene Thür kalte Luft eintreten, welche den Ofencanal der ganzen Länge nach bis zum Schieber durchstreicht, hier durch den Canal in den Rauchsammler und von da in den Schornstein tritt. Befinden sich nun in der ersten Hälfte des Ofencanals gar gebrannte Kalksteine, so werden dieselben durch die durch die Thür eindringende Luft abgekühlt, die Luft erwärmt sich dabei immer mehr und gelangt in hohem Grade erhitzt bis zur Mitte des Ofencanals, wo durch Einstreuen von Brennmaterial das Garbrennen der Kalksteine stattfindet. Die heißen Verbrennungsproducte ziehen dann auf der zweiten Hälfte des Ofencanals durch ungebrannte Steine und wärmen dieselben bis zu einer solchen Temperatur vor, daß es nur einer kurzen Brennzeit und einer geringen Menge Brennstoff zum vollständigen Garbrennen bedarf; dann entweichen die stark abgekühlten Verbrennungsproducte am Ende des Ofencanals in den Rauchsammler und von da in den Schornstein.

Wenn nun der der offenen Thür zunächst stehende Kalk hinreichend abgekühlt, also zum Herausziehen tauglich ist, so ersetzt man ihn durch frische ungebrannte Steine, schließt den Ofen mittelst des Schiebers vor der nächsten Thür hinter den frisch eingesetzten Steinen ab, öffnet diese Thür, schließt die vorhergehende, öffnet den nächsten Rauchcanal, schließt den geöffnet gewesenen und rückt mit dem Befeuern vorwärts. Durch stetige Wiederholung dieses Vorganges in gewissen Zeiträumen macht das Feuer die Runde im Ofen, wie auch gleichzeitig das Ausziehen und Einsetzen der Steine ringsum ohne Unterbrechung stattfindet, wobei, um beide letzteren Arbeiten gleichzeitig ausführen zu können, die zwei ersten Thüren, die eine für das Ausziehen, die andere für das Einsetzen, gleichzeitig offen stehen. Das Feuer brennt nach Vorstehendem immer an der dem Schieber entgegengesetzten Stelle des Ofens; es enthält also der Ofen vom Feuer an bis zur offenen Einfahrt fertig gebrannte, in allmäliger Abkühlung begriffene Steine, während der andere Theil noch ungebrannte, in allmäliger Anwärmung begriffene Steine enthält. — Der Schieber befindet sich stets an der kühlsten Stelle des Ofencanals, ist also den Angriffen des Feuers gar nicht ausgesetzt.

Der Ringofen kann für einen sehr großen, aber auch für einen ziemlich klei-

nen Betrieb eingerichtet werden und je nach Lage und Bedürfniß die verschiedensten Gestalten annehmen. Die Grundrißform der meisten ist der Kreis, doch sind auch ovale und langgestreckte mit zwei parallelen und zwei halbkreisförmigen Seiten in Anwendung. Der Schornstein steht meist in der Mitte, oft aber auch außerhalb des Ofens, er dient oft zwei, ja mehreren Oefen gemeinschaftlich und ist in der Regel so eingerichtet, daß er mindestens noch eine Dampfkesselfeuerung mit aufnehmen kann.

Wird ein neuer Ringofen in Betrieb gesetzt, so wird in dem Brenncanal des Ringofens und zwar an irgend einer Stelle eine verticale Wand (Schildwand, Anfeuerungswand) von zwei bis drei Ziegeln stark in Lehm gemauert aufgeführt. Hinter dieser Wand wird in einem Abstande von etwa $1/3$ bis $1/2$ m der Kalkstein aufgesetzt. Parallel mit den Heizreihen im Gewölbe und lothrecht unter denselben werden auf der Sohle des Brenncanals von den größeren Kalkstücken Längscanäle aufgeführt, mit welchen Schüröffnungen in der Anfeuerungswand correspondiren. Außerdem bringt man wohl noch in der Schildwand oben etwas unter dem Gewölbe eine Feuerstelle an, um die oberen Partien in der ersten Kammer leichter gar brennen zu können. Unter jedem Heizloche im Gewölbe baut man noch senkrechte Heizschächte, welche in den unten auf der Sohle entlang laufenden Canälen münden. Die Heizschächte bildet man dadurch, daß man durch die Heizlöcher nach unten spitz zulaufende Pfähle steckt, um welche die Kalksteine herumgepackt werden; diese Pfähle werden nach dem Einsetzen herausgezogen und können also immer wieder benutzt werden. In den Einkarrthüren, welche gemauert werden, spart man Oeffnungen auf der Sohle aus, um ein kleines Feuer zum Anwärmen und Austrocknen des Einsatzes anmachen zu können.

Hinter der sechsten oder siebenten Abtheilung kommt nun der Schieber, durch den die eingefahrenen Kalksteine vom übrigen Ofencanal abgesperrt werden. In dieser Weise wird zwischen der Schildwand und dem Schieber ein periodischer, horizontaler Ofen gebildet. Hierauf wird in den unteren Feuerungen der Schildwand (die obere wird erst später benutzt) und in den ausgesparten Oeffnungen der Einkarrthüren ein Feuer angemacht, bei welchem anfangs sämmtliche, später nur die letzte Glocke der besetzten Abtheilungen geöffnet sind. Ist der Einsatz schon etwas erwärmt, dann schließt man die Feuerungen in den Einkarrthüren, und nachdem der Zug lebhafter geworden, verstärkt man nach und nach das Feuer in der Schildwand und schließt dem entsprechend eine Glocke nach der anderen, bis man mit einem entsprechenden Zuge arbeitet. Das Schließen der Glocken findet natürlich derart statt, daß zuerst die dem Feuer zunächst gelegene geschlossen wird u. s. w.

Ist der Kalk so weit in Gluth gekommen, daß eingestreute Kohle in den Heizschächten leicht verbrennt, so unterstützt man die Befeuerung durch Einstreuen von oben und fährt damit so lange fort, bis mindestens zwei Kammern von oben befeuert und zur Gare gebracht wurden; dann läßt man das Feuer in der Schildwand ausgehen und mauert die Oeffnungen zu. In der letzten Zeit benutzt man auch die obere Feuerung, welche unter dem Gewölbe in der Schildwand vorgesehen war, um den unmittelbar oben hinter dieser Wand befindlichen Theil der Beschickung gar zu brennen. Nun wird die Anfeuerungswand zunächst oben unter

dem Gewölbe durch Herausnehmen einzelner Steine undicht gemacht, um Luft zur Verbrennung zuzulassen, welche sich dann beim Durchgange durch die glühenden Steine der ersten Abtheilung stark erhitzt und so die rasche und vollständige Verbrennung der Kohle in den anderen befeuerten Schichten ermöglicht.

Nach dem Fortschritt der Gluth und dem Luftbedürfniß wird nun die Schildwand nach und nach weggenommen und der regelmäßige Betrieb ist eingeleitet. Das Feuer wandert dann von Kammer zu Kammer, vor dem Feuer wird immer eine Kammer frischer Steine eingesetzt, so daß stets fünf bis sechs beschickte Abtheilungen vor dem Feuer stehen; hinter der Kammer wird eine Kammer nach der anderen, wenn abgekühlt, ausgefahren, so daß immer einige Kammern hinter dem Feuer mit garem Kalk gefüllt im Ofen bleiben [1]).

Der Hoffmann'sche Ringofen ist bereits in mehr als 100 Exemplaren zur Kalk- und Cementfabrikation verwendet und es hat sich ergeben, daß derselbe bei richtiger Behandlung alle anderen continuirlichen Oefen an Leistungsfähigkeit und Ersparniß von Brennmaterial übertrifft. Die Beschickung des Ringofens ist allerdings mit größeren Kosten verbunden, weil der Kalkstein eingesetzt werden muß; dieses gleicht sich aber dadurch wieder aus, daß man den Kalkstein auch in sehr großen Stücken anwenden kann, ohne daß man Gefahr läuft, daß dieselben nicht gar werden und es wird auch fast kein Kleinkalk erhalten.

Ueber den Ringofenbetrieb verglichen mit dem Trichterofenbetriebe giebt H. Meyberg interessante Data [2]):

die Trichteröfen liefern täglich ca. 600 Ctr. gebrannten Kalk,
der Ringofen liefert „ „ 466 „ „ „
der Trichterofenkalk beträgt per Waggon 49,46 h
„ Ringofenkalk „ „ „ 54,96 „

letzterer ist also beinahe $1/_{10}$ leichter als ersterer. Die Wiederverkäufer verlangen daher Trichterofenkalk, wenn sie nach dem Gewichte, Ringofenkalk, wenn sie nach dem Volumen verkaufen.

Jeder Waggon Ringofenkalk, circa 54,96 hl, lieferte 18,54 bis 18,70 cbm gelöschten Kalk, jeder Waggon Trichterofenkalk, ca. 49,46 hl, lieferte 12,36 cbm.

Im Jahre 1871 wurden gebrannt:

im Ringofen	im Trichterofen
$2397^5/_{12}$ Waggons Kalk à 100 Ctr. mit	2066 Waggons Kalk mit
$292^1/_2$ „ Kohlen für	348,88 „ Kohlen für
3296 Thlr. 20 Sgr. 6 Pf. Löhne.	1685 Thlr. Löhne.

Sie ergaben an gebranntem Kalke:

1120 Waggons	$918^1/_2$ Waggons.

---

1) Kühne, Lehrb. der Kalk-, Cement- 2c. Fabrikation, S. 33.

2) Notizblatt des Vereins f. Fabrikation von Ziegeln, Thonwaaren, Kalk und Cement. 1870, S. 211 u. 1871, S. 127.

Davon erforderten 100 Ctr. gebrannten Kalkes:

25,98 Ctr. Kohlen besserer Qualität,	38 Ctr. Kohlen geringerer Qualität,
2,94 Thlr. Löhne,	1,84 Thlr. Löhne,
214 Ctr. Kalksteine,	225 Ctr. Kalksteine,

wobei der des Ringofens keine Kalkasche, der der Trichteröfen dagegen großen Verlust an Kalkasche brachte.

Es kostete somit 1 Waggon Kalk:

an Kohlen	5	Thlr.	7	Sgr.	6	Pf.		an Kohlen	5	Thlr.	9	Sgr.	—	Pf.
an Löhnen	2	„	22	„	—	„		an Löhnen	1	„	25	„	—	„
an Steinen	4	„	8	„	6	„		an Steinen	4	„	15	„	—	„
Sa.	12	Thlr.	14	Sgr.	—	Pf.		Sa.	11	Thlr.	19	Sgr.	—	Pf.

Der Waggon Ringofenkalk wurde um 1 Thlr. 3 Sgr. 5 Pf. theurer als Trichterofenkalk verkauft: Kalkasche, wenn sie verkäuflich, kostet $^1/_4$ vom Trichterofenkalk [1]).

Der von dem Ingenieur O. Bock in Cassel construirte continuirlich gehende Canalofen, bei welchem das zu brennende Material auf Wagen bewegt wird, während das Feuer immer auf derselben Stelle unterhalten wird, hat sich zum Brennen von Kalk und Cement nicht bewährt, während derselbe zum Ziegelbrennen vielfach angewendet ist. Dagegen ist von demselben Ingenieur in den letzten Jahren ein continuirlicher Kalkofen, Kammerofen, construirt und zur Ausführung gebracht worden (Fig. 35).

Fig. 35.

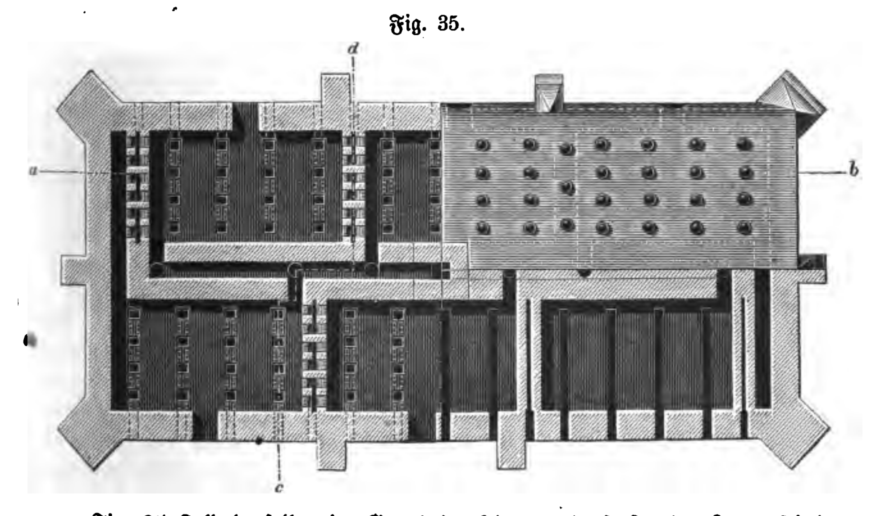


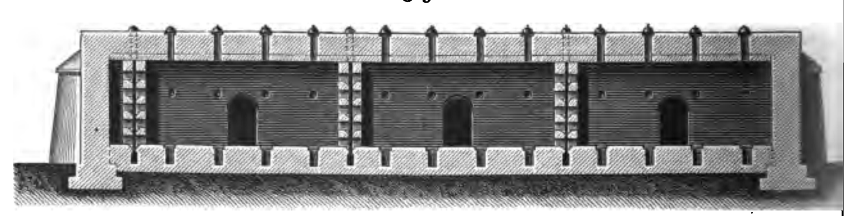
Fig. 35 stellt denselben im Grundriß, Fig. 36 (a. f. S.) im Längenschnitt *a* — *b* und Fig. 37 im Querschnitt *c* — *d* dar. Der Ofen hat 6 Kammern, deren

[1]) Das Brennen von Kalk im Ringofen ist auch eingehend beschrieben worden von Kolz, Kalkbrennereibesitzer in Pelm bei Gerolstein im Notizbl. D. V. f. F. von Ziegeln ꝛc. 1875, S. 130.

Größen sich nach dem täglich zu brennenden Quantum richten und zwar so, daß pro Tag eine Kammer zum Entleeren kommt. Die einzelnen Kammern sind mittelst durchbrochener Wände von einander getrennt und die Wände selbst so construirt, daß man durch Sandeinfüllung von oben dieselben dicht machen kann und so eine feste Trennung erhält. Durch einen Canal unter den Wänden läßt sich der Sand entfernen und die Communication der Kammern wieder herstellen.

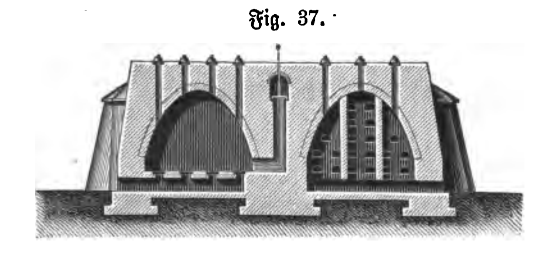
Zwei von diesen Wänden sind immer mit Sand gefüllt und zwar zwei benachbarte. Die Kammer zwischen den gefüllten Wänden wird entleert und wieder gefüllt, während die fünf anderen mit einander in Verbindung stehen. Die Kammer neben der ausgeschalteten wird beheizt und zwar entweder von oben

Fig. 36.

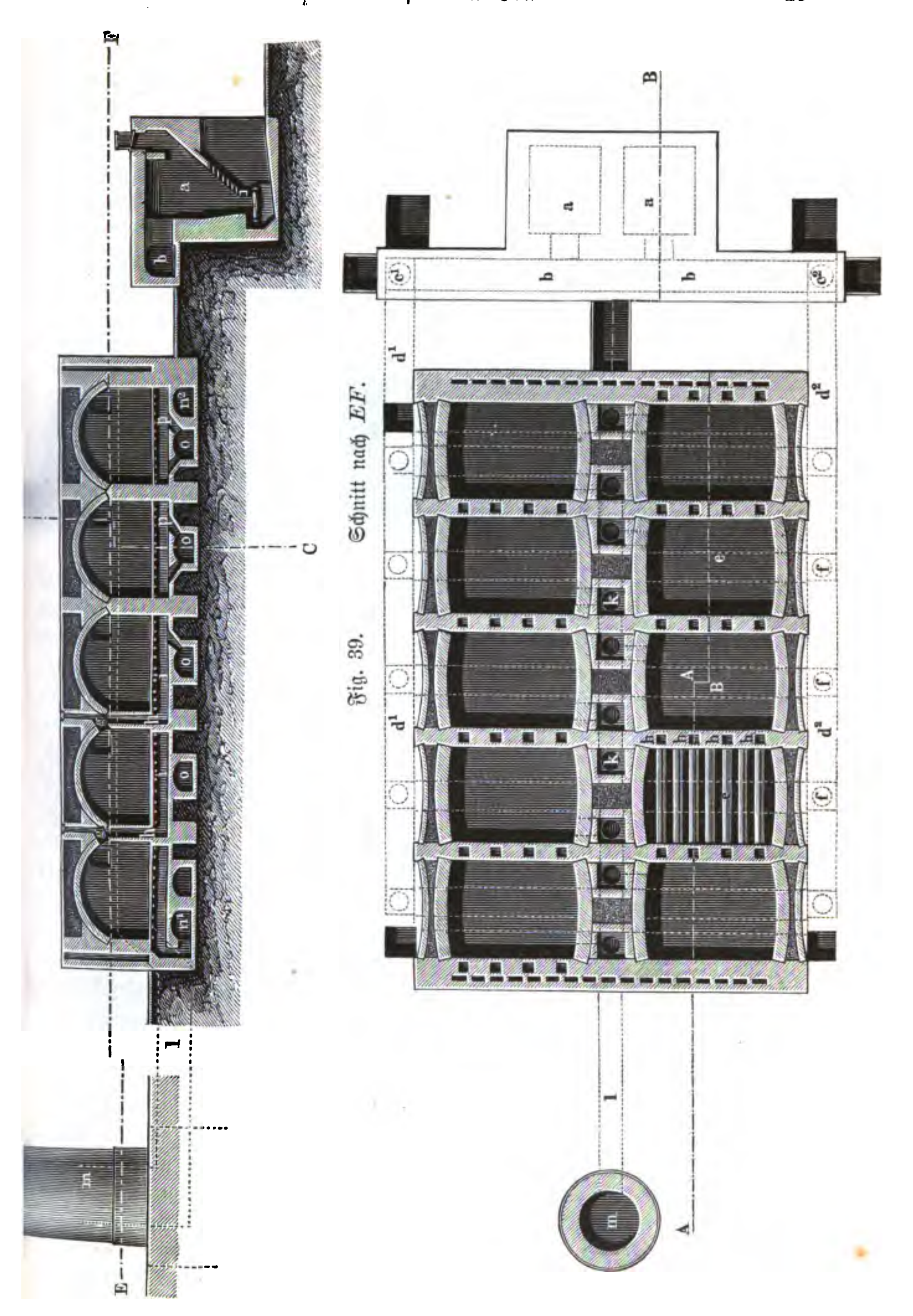


wie beim Ringofen oder von unten auf hier angebrachten Rosten, je nachdem sich der Kalk in Schächten setzen läßt oder nicht. Die Rauchgase ziehen aus der brennenden Kammer durch die vier eingesetzten Kammern nach dem Fuchs resp. Schornstein ab und wärmen diese den Kalkstein vor. Bei der Beheizung von oben befindet sich unter jedem Heizschacht ein kleiner Rost und unter diesen Rosten ein Luftzuführungscanal, durch welchen die zur Verbrennung nothwendige atmosphärische Luft eingezogen wird. Bei der Beheizung von unten tritt die Luft unter den großen Rosten durch die Aschengräben hinein. Sobald die beheizte Kammer gar gebrannt ist, wird die benachbarte so glühend sein, daß man hier sofort mit Vollgluth zu brennen anfangen kann. Nach Verlauf von etwa 12 Stunden füllt man die Trennwand zwischen der gar gebrannten und der in Vollgluth stehenden Kammer mit Sand. Die gar gebrannte Kammer kühlt direct nach dem Schornstein ab, wo die abgehende Wärme zur Zugverstärkung dient, während die frisch eingesetzte Kammer dem Betriebe dadurch übergeben wird, daß man den Sand in der betreffenden Zwischenwand auszieht.

Fig. 37.



Die Vortheile dieses Ofens dem Ringofen gegenüber bestehen darin: 1) daß die gar gebrannte Kammer ähnlich wie in den alten offenen Kalköfen sofort und sehr schnell abgekühlt werden kann. Hierdurch soll der Kalk an Ausgiebigkeit beim Löschen gewinnen; 2) sind die Anlagekosten etwa um die Hälfte billiger als

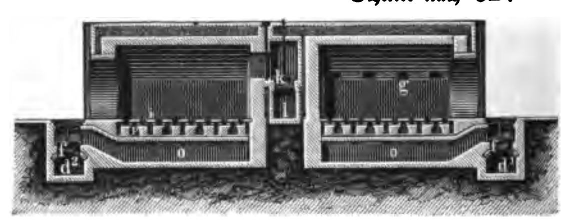

Fig. 39. Schnitt nach *EF*.

von einem Ringofen, der bei derselben Tagesproduction statt 6 etwa 14 bis 16 Kammern von derselben Größe erfordert.

Der Verbrauch an Brennmaterial beträgt einen Gewichtstheil Kohle zu drei bis vier Gewichtstheilen gebrannten Kalk je nach Güte der Kohlen und Natur des Kalksteines.

Ein continuirlicher Kammerofen mit Generatorgasfeuerung zum Brennen von Kalk (Strontian und ähnlichen Materialien) (D. R.-P. Nr. 24085) ist von Georg Mendheim, Civilingenieur in München mehrfach zur Ausführung gebracht worden; seine Einrichtung ist aus den Fig. 38, 39 (a. v. S.) und 40 ersichtlich. *a a* die Gasgeneratoren, deren Con-

Fig. 40. Schnitt nach *CD*.



struction je nach dem zur Verwendung kommenden Brennmaterial variirt. Das in demselben erzeugte Gas wird durch den Canal *b* und eines der eisernen Glockenventile c^1 resp. c^2 in den entsprechenden Längscanal d^1 resp. d^2 geleitet, an welchem die direct zu befeuernde Ofenkammer *e* liegt. In dieselbe wird das Gas durch Heben des betreffenden eisernen Glockenventils *f* nach Bedarf eingelassen und entzündet sich dort sofort an dem bereits glühenden Inhalte der Kammer, welche durch die abgehende Flamme der vorhergehenden Brände vorgewärmt ist, unter Zutritt der hoch erhitzten Luft, welche man durch die drei vorher gebrannten noch glühenden Kammern zur direct befeuerten Kammer strömen läßt. Aus letzterer entweicht die Flamme, nachdem sie das brennende Material durchzogen, durch die Oeffnungen *g g* und die senkrechten Schächte *h h* in die Sohlencanäle *i i* der nächsten Kammer und gelangt auf gleichen Wegen noch durch zwei folgende Kammern, deren letzte durch kleine Schieber gegen die nächstanstoßende Kammer abgeschlossen und durch Heben ihres Rauchventils *k* mit dem Rauchcanal *l* und dem Schornstein *m* in Verbindung gesetzt ist, welcher den Zug für das gesammte Ofensystem erzeugt.

Sobald eine in directer Befeuerung befindliche Kammer fertig gebrannt ist, wird das Gasventil derselben geschlossen und das der nächsten Kammer geöffnet, wodurch diese in directe Befeuerung gelangt, ebenso wird eine weitere Kammer der Vorwärmung durch die abgehende Flamme ausgesetzt, nachdem ihr Rauchventil geöffnet, das bisher geöffnete geschlossen und die Verschlüsse in *g g* entsprechend versetzt sind. Der Brand schreitet demnach, wie auch Vorwärmung und Abkühlung der einzelnen Kammern, in ähnlicher Weise fort wie im Ringofen; die letzte Kammer jeder Kammerreihe ist mit der ersten der anderen Kammerreihe durch einen Canal n^1 resp. n^2 verbunden. Auskarren und Besetzen der einzelnen Kammern folgen in gleicher Weise dem Feuer.

Wie aus Fig. 38 u. 40 ersichtlich, tritt das Gas, nachdem es Ventil *f* passirt, zunächst in den Canal *o* und aus diesem in die kleinen Canäle *pp*, welche zwischen den Luftcanälen *ii* liegen und mit diesen die Ofensohle bilden. Gas und Luft treten horizontal in den Ofenraum und mischen sich in offenen Canälen, welche direct durch den Ofeneinsatz überdeckt werden; auf diese Weise wird verhütet, daß die betreffenden Oeffnungen durch letzteren verstopft werden, falls derselbe, wie beim Kalk z. B. der Fall ist, während des Brandes und der Kühlung sowie beim Auskarren abbröckelt. Es findet dies im Kammerofen allerdings bei Weitem weniger statt als im Schachtofen durch die fortwährende Bewegung des Materials, und muß dies für viele Fälle als ein besonderer Vorzug des ersteren gegenüber dem letzteren betrachtet werden, welchem er auch in Bezug auf geringeren Bedarf an Brennmaterial überlegen ist.

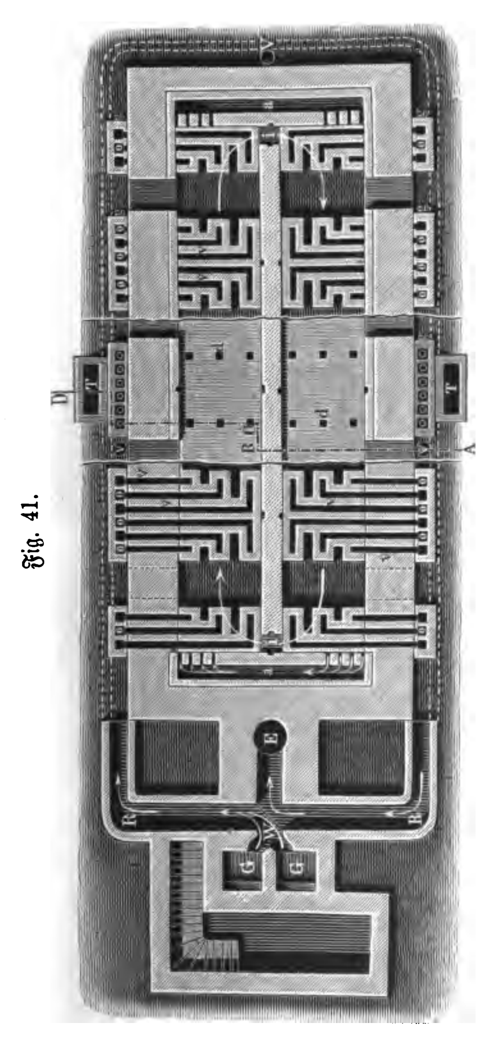


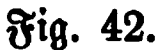
Fig. 41.

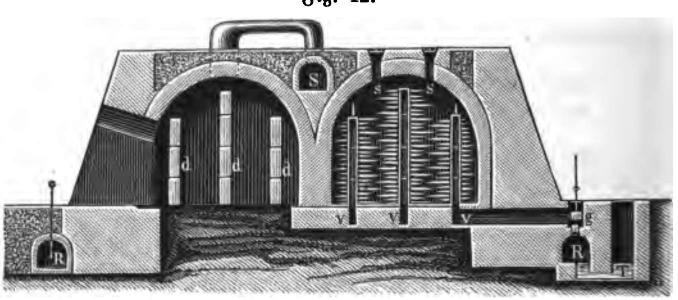
Gasringofen. Der Ringofen gilt allgemein als ein höchst ökonomischer Brennapparat, da einerseits die Abhitze der Verbrennungsproducte aufs Aeußerste ausgenützt, andererseits fast sämmtliche Wärme, die die gebrannte Waare und die Ofenwände aufgenommen haben, für Brenn- und Trockenzwecke wiedergewonnen wird, und außerdem die Wärme nach Länge, Breite und Höhe des Ofens nahezu gleichmäßig vertheilt werden kann.

Die Vorzüge des Ringofens veranlaßte mehrere Gasfeuerungstechniker, diesen Ofen für die Gasfeuerung einzurichten und zwar in seiner ihm ureigenen Form des endlosen Brenncanals; aber die meisten der bisherigen dahin zielenden Versuche blieben erfolglos, weil man von dem Principe ausging, das Gas für sich allein durch Oeffnungen an der Sohle in den Brennraum eintreten zu lassen, während die Verbrennungsluft denselben in horizontaler Linie frei durchzog, wobei eine

innige Mischung von Gas und Luft und folglich auch eine vollständige Verbrennung des Gases um so weniger eintrat, je größer der Raum war, in welchen das Gas einströmte.

Von einem neuen Gesichtspunkte aus hat H. Escherich (Thonwaarenfabrik Schwandorf) die rationelle Einführung der Gasfeuerung in den Ringofenbetrieb in Angriff genommen und durchgeführt. Bei dem Escherich'schen Gasringofen, der in Fig. 41 (a. v. S.) und 42 abgebildet ist, werden an Stelle der bisher bei Ring-


Fig. 42.



öfen mit directer Feuerung üblichen Heizschächte feuerfeste Röhren, Gasdüsen oder Gaspfeifen aufgestellt, welche von der Ofensohle bis nahe zum Gewölbe reichen, der Höhe nach mit zahlreichen kleinen Oeffnungen versehen und oben mit einem Deckel geschlossen sind. Diese Pfeifen *d* stehen durch die Vertheilungscanäle *v* mit dem Ringcanale *R* in Verbindung, welcher den ganzen Ofen umschließt, und einerseits mit den an beliebigen Orten aufgestellten Gasgeneratoren *G*, andererseits mit dem Kamine *E* in Verbindung steht. Zwischen dem Generator und dem Kamine ist eine Siemens'sche Drosselklappe oder Lundin'scher Wechsel *W* angebracht, welcher gestattet, das Gas nach Bedarf bald nach der einen, bald nach der anderen Seite des Ringcanals zu leiten, während stets auf der entgegengesetzten Seite der Rauch resp. die Verbrennungsproducte dem Kamine zuströmen; es dient somit der Ringcanal sowohl zur Zuführung des Gases als auch zur Abführung des Rauches. Um jedoch zu verhindern, daß das Gas direct durch den Ringcanal dem Kamine zuströmt, ist derselbe durch die Ventile *V* in vier Abtheilungen getrennt, welche in beliebige Verbindungen zu einander gebracht werden können, jedoch stets so gestellt werden müssen, daß die Gasabtheilungen von den Rauchabtheilungen getrennt sind. Der sich in dem Ringcanal absetzende Theer sammelt sich in den Theergruben *T*, von wo aus er leicht entfernt werden kann.

Ebenso wie der Ringcanal dienen auch die Vertheilungscanäle *v* und die Pfeifen *d* sowohl zur Gaszuführung wie auch zum Rauchabzug; jeder Vertheilungscanal ist mit einer Regulirvorrichtung *g* versehen, so daß man an jeder Pfeife sowohl den Gaszufluß wie den Rauchabfluß nach Belieben vermehren, vermindern oder unterbrechen und hiermit das Feuer an jeder Stelle des Ofens sicher beherrschen kann. Zwischen je zwei Pfeifen sind im Ofengewölbe Schaulöcher *s* ausgespart, durch welche man nicht nur die Gasflamme, sondern auch die im Brande befindliche Waare vom Gewölbe bis zur Ofensohle beschauen und

hiernach das Feuer reguliren kann. Für die Ueberleitung heißer Luft aus den kühlenden in die zu schmauchenden Abtheilungen dient der Schmauchcanal *S*.

Da die Luft im Ringofen sich horizontal vorwärts bewegt und der Luftstrom den ganzen Ofenquerschnitt erfüllt, so ist eine gleiche Mischung von Luft und Gas nur möglich, wenn das letztere in allen Höhen und allen Breiten des Ofens gleichmäßig und fein vertheilt eintritt, und wird dieses durch die Gaspfeifen möglichst vollständig erreicht. Dadurch, daß die Generatorgase vor ihrem Eintritt in den Ofen die in Gluth stehenden senkrechten Röhren durchstreichen und sich dadurch stark erwärmen müssen, wird die Verbrennung noch wesentlich befördert.

Um das Feuer von dem einen Brenncanal in den anderen Parallelcanal gleichzeitig überführen zu können, sind zwei Verbindungscanäle *i* und *a* angebracht, von welchen der innere *i* die Verbrennungsproducte der inneren Hälfte, der äußere *a* jene der äußeren Hälfte überführt, und sind beide Canäle durch Chamotteschieber regulirbar, so daß man die Flamme nach Belieben mehr nach innen oder nach außen ziehen kann.

Hierzu sei noch bemerkt, daß die Anlagekosten eines Gasringofens sammt Generatoren und drei Canälen für die Zuleitung und Vertheilung des Generatorgases nicht höher sich belaufen, als bei einem gewöhnlichen Ringofen von gleicher Fassung.

Escherich'sche Gasringöfen sind schon in mehreren Thonwaarenfabriken mit großem Vortheil verwendet, da dieselben eine Verunreinigung durch Flugasche ausschließen, was für feinere Thonwaaren von großer Wichtigkeit ist. Auch auf einem größeren Kalkwerke in Bayern war ein solcher Ofen zwei Jahre lang zum Brennen von Kalk im Gebrauch und derselbe arbeitete zur vollsten Zufriedenheit; der Besitzer des Kalkwerkes stellte aber den Gasbetrieb wieder ein, da durch ungeschultes Personal fortwährend Betriebsstörungen eintraten. Zur Zeit wird ein Escherich'scher Gasringofen für eine Portlandcementfabrik gebaut.

Außer diesen hier näher beschriebenen Kalköfen sind auch noch anderweitige Oefen zum Brennen von Kalk vorgeschlagen und patentirt worden, über deren Anwendung in der Praxis dem Verfasser nichts Näheres bekannt wurde, daher dieselben nur kurz aufgeführt werden.

Ein Kalkbrennofen mit Braunkohlengasfeuerung zu ununterbrochenem Betriebe wurde P. Berndt und J. Baldermann in Fürstenberg a. d. Oder patentirt (D. R.-P. Nr. 3509 vom 28. Mai 1878 [1]).

K. Freitag in Königslutter hat einen polygonalen Ofen mit Rostfeuerung zu ununterbrochenem Betriebe für Kalk (Cement und Ziegel) construirt (D. R.-P. Nr. 6641 vom 26. October 1878 und Nr. 11458 vom 28. Februar 1880 [2]).

Einen Ofen mit geneigtem Schachte zum Brennen von Kalk (Cement, Gyps, Thonwaaren) mit continuirlichem Betriebe haben A. und R. Fach in Wiesbaden angegeben (D. R.-P. Nr. 6778 vom 15. Februar 1879 [3]).

---

[1] Dingl. pol. J. 238, 477.
[2] Dingl. pol. J. 238, 44, 242, S. 274.
[3] Dingl. pol. J. 237, 292.

Von G. Emmel in Hörde wurde ein Canalofen mit Centralluftheizung beschrieben (D. R.-P. Nr. 13 604 [1]).

Neuerungen an Schachtöfen ließ sich Pierre Montagné in Paris patentiren (D. R.-P. Nr. 16 759 vom 31. Mai 1881), welche Neuerungen nicht nur in der Form der Oefen, sondern auch in den Vorrichtungen zum Weiterschieben des Inhaltes der Oefen bestehen.

Auf einen continuirlichen Kalkofen mit Regenerativgasfeuerung erhielt G. Hänsch in Fürstenberg a. d. Oder [2]) und für Neuerungen an Kammeröfen Erdmann Arnold ein Patent [3]).

5. Veränderungen des Kalksteines beim Brennen.

Die Veränderungen, welche der Kalkstein beim Brennen erleidet, beziehen sich auf Gewichtsverlust, Volumverminderung, specifisches Gewicht, Farbe, Härte, Dichte und chemische Zusammensetzung.

Was den Gewichtsverlust betrifft, so geben 100 Gewthle. völlig trockenes und chemisch reines Calciumcarbonat 56 Gewthle. Calciumoxyd = gebrannten Kalk; der Gewichtsverlust beträgt daher 44 Proc. Dieses gilt nur für reines Calciumcarbonat; da aber, wie schon angegeben, die im Großen zum Brennen verwendeten Kalksteine immer Wasser und andere Beimengungen enthalten, so ändert sich dieses Verhältniß und es ist dann die Höhe des Gewichtsverlustes abhängig von der Menge dieser Beimengungen. Bei einem Gehalt an Wasser und organischer Substanz wird die Ausbeute verringert, dagegen erhöht sich dieselbe bei Anwesenheit von thonigen und kieseligen Beimengungen und zwar um so mehr, als die Kalksteine hiervon enthalten. Es kann daher die Ausbeute an gebranntem Kalk bis unter 56 Proc. sinken, kann aber auch bis zu 60 Proc. und darüber sich steigern.

So beträchtlich die Verminderung des Gewichtes der Kalksteine durch den Weggang der Kohlensäure ist, das Volumen ändert sich dabei verhältnißmäßig nur wenig; es findet allerdings eine Schwindung statt, für welche kein bestimmtes Maß angegeben werden kann (gewöhnlich nimmt man 10 bis 20 Proc. des ursprünglichen Volumens an), da der Grad des Schwindens je nach der Qualität des Kalksteines und je nach dem Grade und der Dauer der einwirkenden Hitze sehr erheblich variirt, welcher Umstand von wesentlichem Einfluß auf die Qualität des gebrannten Kalkes sein kann; denn je stärker der Kalk schwindet, um so größer wird sein specifisches Gewicht und um so mehr wiegt und um so mehr Kalk enthält ein mit gebranntem Kalk gefülltes Hohlmaß [4]). Dieses ist

[1]) Dingl. pol. J. 238, 227 u. Notizbl. des Ziegler- u. Kalkbrenner-Vereins 1881, S. 145 u. 154.

[2]) Stegmann's Zeitschr. f. d. ges. Thonwaarenind. 1879, S. 183.

[3]) D. R.-P. Nr. 17 742; Notizbl. des Ziegler- u. Kalkbrenner-Vereins 1882, S. 193.

[4]) So wiegt z. B. ein Cubikmeter gebrannter Kalk von Rüdersdorf 13,5 bis 14 Ctr., während ein Cubikmeter in München in einem Kalkofen mit combinirter Feuerung (s. S. 37) erzeugter Aetzkalk 18 bis 18,5 Ctr. wiegt.

von Wichtigkeit, da der Kalk beim Verkauf fast durchgängig nicht gewogen, sondern gemessen wird. Hieraus erklärt sich auch zugleich die verschiedene Ausbeute an Hektolitern Kalk, die man auf verschiedenen Kalkwerken aus der gleichen Menge Kalkstein erhält.

Die chemischen Veränderungen beim Brennen der Kalksteine sind: Wird reines Calciumcarbonat geglüht, so wird, wenn Wasser vorhanden, dieses zuerst ausgetrieben; bei höherer Temperatur entweicht dann die Kohlensäure und es bleibt reines Calciumoxyd zurück. Beim Brennen der Kalksteine, welche immer noch andere Beimengungen enthalten, verflüchtigt sich zuerst das Wasser, und die organischen (bituminösen) Stoffe werden verbrannt; bei steigender Hitze verlieren hierauf das Calcium- und Magnesiumcarbonat ihre Kohlensäure, und verwandeln sich in Calcium- und Magnesiumoxyd; ist Ferro- oder Manganocarbonat vorhanden, so verlieren auch diese ihre Kohlensäure und oxydiren sich höher zu Eisenoxyd und Manganoxyd. Bei Kalksteinen, welche Kieselerde oder Thon enthalten, tritt oft noch eine weitere, nachtheilige Veränderung, namentlich bei einer sehr großen Hitze, in der Art ein, daß der Kalk, wenn er ätzend geworden ist, sich mit der Kieselerde oder mit dem Thone chemisch verbindet, d. h. auf diese aufschließend wirkt. In diesem Falle sintert der Kalk beim Brennen und zwar um so mehr, je größer der Gehalt an diesen Beimengungen und je höher die Temperatur ist.

Zuweilen kommt es vor, daß den Kalksteinen nur äußerlich Thon oder Mergel anhängt; in diesem Falle kann dann an der Oberfläche der Kalksteine eine Sinterung eintreten, wodurch dieselben eine gesinterte Kruste erhalten. Dasselbe kann auch eintreten, wenn der Kalk im Ofen mit der thonhaltigen Asche der Braun- und Steinkohlen in Berührung kommt, wie beim Brennen in Kalköfen mit kurzer Flamme, wo der Kalk mit den Braun- und Steinkohlen geschichtet gebrannt wird; in diesem Falle findet man oft Stücke gebrannten Kalkes, die mit sog. Schmelz d. i. mit einer durch Aufschmelzen von Asche auf den Kalk gebildeten glasartigen Masse überzogen sind.

Beim Brennen der Kalksteine mit Schwefelkies enthaltenden Braun- und Steinkohlen kann sich auch ein Theil des Kalkes, oder wenn Magnesia vorhanden ist, ein Theil derselben, in Calciumsulfat oder Magnesiumsulfat umwandeln; so fand Aron in einem mit Braunkohlen gebrannten Kalke die äußere Schicht desselben fast völlig in Gyps verwandelt. Diese Sulfate können dann Veranlassung geben zu Auswitterungen an Bauten, zu deren Herstellung ein Kalk verwendet wurde, der Gyps oder Magnesiumsulfat enthält.

6. Eigenschaften des gebrannten Kalkes.

Die chemisch reine Kalkerde, erhalten durch Glühen von reinem Calciumcarbonat, wegen ihrer ätzenden und zerstörenden Einwirkung auf organische Körper auch Aetzkalk (zuweilen auch lebendiger oder ungelöschter Kalk) genannt, ist Calciumoxyd, hat die Formel CaO und besteht aus 71,43 Gewthln. Calcium und 28,57 Gewthln. Sauerstoff. Dieselbe bildet eine feste, rein weiße,

poröse, erdige, amorphe Masse, ist feuerbeständig, erträgt die stärkste Ofenhitze, ohne zu schmelzen oder zu sintern; specifisches Gewicht nach Roger und Dumas bei 4° und im luftleeren Raume 3,08, nach Karsten 3,1605, nach Boullay 3,18; schmeckt scharf laugenhaft und reagirt alkalisch.

Ihrem chemischen Charakter nach ist die Kalkerde eine starke Base, giebt mit Säuren die Kalk- oder die Calciumsalze und gehört zu denjenigen Basen, welche man als alkalische Erden bezeichnet.

Taucht man ein Stück gebrannten Kalk einige Augenblicke in Wasser oder begießt man dasselbe mit soviel Wasser, als es aufzusaugen vermag, so erhitzt sich der genetzte Kalk nach kurzer Zeit sehr stark, giebt Wasserdampf aus, schwillt an, zerklüftet sich und zerfällt zu einem weißen, feinkörnigen Pulver von 2,078 spec. Gew.; diesen Vorgang nennt man das Löschen des Kalkes. Das anfangs nur aufgesogene Wasser verbindet sich hierbei unter bedeutender Wärmeentwickelung chemisch mit dem Kalke, es entsteht Kalkhydrat oder Calciumhydroxyd, $Ca(OH)_2$, was man im gewöhnlichen Leben gelöschten Kalk, Mehlkalk nennt; das Volumen desselben beträgt das $2^1/_2$- bis 3fache von dem des ungebrannten Kalkes. 100 Gewthle. Aetzkalk erfordern 32 Gewthle. Wasser zur Bildung von Kalkhydrat; 100 Gewthle. Kalkhydrat bestehen aus 75,67 Gewthln. Calciumoxyd (CaO) und 24,33 Gewthln. Wasser (H_2O). Befeuchtet man größere Mengen von Aetzkalk mit nur soviel Wasser, als derselbe chemisch zu binden vermag, so kann die Temperatur selbst bis zur Entzündung von Schießpulver und zur Verkohlung des Holzes sich steigern. Selbst mit Eis zusammengebracht, erhitzt sich der Kalk noch bis auf 100°. Es ist demnach die Affinität des Aetzkalkes zu Wasser eine außerordentlich starke, womit auch im Einklange steht, daß das erzeugte Kalkhydrat erst wieder bei Rothglühhitze zerlegt wird.

Die Volumvergrößerung des Aetzkalkes beim Löschen, das Gedeihen oder Wachsen desselben, wird dadurch erklärt, daß beim Löschen des Kalkes durch die frei werdende Wärme ein Theil des Wassers energisch verdampft wird, wodurch die Kalktheilchen derart in ihre Moleküle zersprengt werden, daß sie, verglichen mit dem ursprünglichen Volum des Kalkes, jetzt einen mehr oder minder größeren Raum erfüllen. Diese Erscheinung des Gedeihens ist demnach nur eine Function der bedeutenden Wärmeentwickelung beim Löschen und tritt nicht ein, wenn die Bildung von Kalkhydrat auf eine andere Art bewerkstelligt wird, wie folgender Versuch beweist. Stücke von gebranntem Kalk in einem Glasrohre erwärmt und einem Strome von Wasserdampf ausgesetzt, so daß sich kein Dampf verdichten kann, verwandeln sich ebenfalls in Hydrat, ohne die geringste Erscheinung des Löschens, ohne zu zerfallen, ohne aufzugehen (Wolters[1]). Stampft man fein zerriebenen gebrannten Kalk in ein verschließbares, mit feinen Oeffnungen in der Wand versehenes Metallrohr und legt es unter Wasser, so verwandelt sich der Kalkstaub nach einigen Stunden in einen zusammenhängenden Stab aus Kalkhydrat, von der Festigkeit der Schreibkreide, in Folge einer reinen hydraulischen Erhärtung; das langsam eindringende Wasser, die ebenso rasch zerstreute als entwickelte Wärme hindert das Gedeihen vollkommen (Knapp[2]).

---

[1]) Dingl. pol. J. 196, 314. — [2]) Dingl. pol. J. 202, 524.

Die Ansicht, wonach das Gedeihen des Kalkes in Folge von Zersplitterung der Kalkmoleküle durch den beim Löschen auftretenden Wasserdampf bewirkt wird, wird von Prof. J. Stingl[1]) bestritten. Nach demselben besitzt das Kalkhydrat die Eigenschaft, im Momente des Entstehens größere Mengen Wasser aufzunehmen und festzuhalten, ohne damit eine chemische Verbindung zu bilden, wodurch eine breiartige Masse entsteht und das Volumen vergrößert wird; je mehr Wasser auf diese Art festgehalten wird, desto besser gedeiht der Kalk.

Das Kalkhydrat wird von dem Wasser nur wenig gelöst; 1 Thl. erfordert bei 16° C. 778 Thle. Wasser zur Lösung (Dalton). Nach Bineau[2]) ist das Verhältniß 1:760 bei 18°, nach Pavesi und Rotondi[3]) 1:758 bei 13° und 1:806 bei 19°. Die klare Lösung des Kalkhydrats heißt Kalkwasser.

Kalkwasser trübt sich beim Kochen, indem sich Kalkhydrat in kleinen Krystallen ausscheidet, weil dasselbe in kochendem Wasser in geringerer Menge sich löst. Bei 100° erfordert 1 Thl. Kalkhydrat 1270 Thle. Wasser zur Lösung (Dalton). A. Lamy[4]), welcher die Löslichkeit des Kalkes in Wasser bei verschiedenen Temperaturen untersuchte, fand, daß 1000 Thle. der Lösung enthalten:

	Theile Kalk (CaO), bereitet aus		
	Nitrat	Marmor	Hydrat
0°	1,362	1,381	1,430
10	1,311	1,342	1,384
15	1,277	1,299	1,344
30	1,142	1,162	1,195
45	0,996	1,005	1,033
60	0,844	0,868	0,885
100	0,562	0,576	0,584

Thomas Maben[5]) machte folgende Beobachtungen über die Löslichkeit von Kalk in Wasser bei verschiedenen Temperaturen:

---

1) Dingl. pol. J. **229**, 350.
2) Bineau, J. pr. Chem. **67**, 219.
3) Pavesi u. Rotondi, Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1874, S. 817.
4) A. Lamy, Compt. rend. **86**, 333; Ann. chim. phys. (5) **14**, 145.
5) The Pharm. Journ. and Transact. 1883, Dec. p. 505. Archiv d. Pharm. 1884 [3], **22**, 243.

Grade Celsius	1 Thl. Kalk löst sich in Thln. Wasser	100 Thle. Wasser lösen Thle. Kalk
0°	763	0,131
5°	769	0,130
10°	781	0,128
15°	787	0,127
20°	794	0,126
25°	833	0,120
30°	862	0,116
40°	934	0,107
50°	1020	0,098
60°	1136	0,088
70°	1250	0,080
80°	1370	0,073
90°	1587	0,063
99°	1667	0,060

Das Kalkwasser ist farblos, hat eine stark alkalische Reaction und einen schwach alkalischen, schrumpfenden Geschmack. Man hat schon öfters die Beobachtung gemacht, daß, wenn man aus derselben Quantität gelöschten Kalkes mehrmals hinter einander Kalkwasser bereitet, alsdann das erste Kalkwasser viel stärker alkalisch ist als die folgenden. Es rührt dieses von den in sehr vielen Kalksteinen enthaltenen Alkalisalzen (kohlensauren und kieselsauren Alkalien) her [1]), die nachher unter dem Einfluß des Kalkhydrats ätzend werden. Um ein alkalifreies Kalkwasser zu erhalten, muß man daher die ersten alkalihaltigen Aufgüsse beseitigen.

In Lösungen von Kochsalz, Salmiak, Kalium- und Natriumsalpeter ist das Kalkhydrat viel leichter löslich als in Wasser.

Eine wässerige Zuckerlösung löst größere Mengen Kalk als Wasser, indem sich lösliche Verbindungen von Kalk und Zucker, Zuckerkalk, Calciumsaccharat bilden. 100 Gewthle. Rohrzucker in Wasser gelöst, lösen nach Osann 55,6, nach Ure 50 und nach Daniell 49,6 Gewthle. Kalk auf. Auch in Glycerin löst sich der Kalk leichter als in Wasser.

Wenn man nach Gay-Lussac ein Gefäß mit Kalkwasser und ein anderes mit Vitriolöl unter eine unten zu verschließende Glocke stellt, und das Vitriolöl erneuert, so oft es mit Wasser überladen ist, so scheidet sich Kalkhydrat in durchsichtigen, regelmäßig sechsseitigen Säulen und Tafeln an den Wandungen des Gefäßes ab. Nach Rose [2]) scheidet sich auch Kalkhydrat in Krystallen aus,

---

[1]) Ueber den Gehalt der Kalksteine an Alkalisalzen siehe Schramm, J. pr. Chem. 47, 440 u. Fehling, J. pr. Chem. 47, 446.

[2]) G. Rose, Berl. Akad. Ber. 1860, Nov. S. 582.

wenn man kaltgesättigtes Kalkwasser in einem verschlossenen Gefäße an einem heißen Orte einige Zeit stehen läßt; einmal abgeschieden, lösen sich die Krystalle beim Erkalten in dem Wasser nicht wieder auf.

Uebergießt man 1 Gewthl. Aetzkalk mit 3 Gewthln. Wasser, so daß das Wasser etwas über dem Kalke steht, so kommt das Wasser ins Kochen und der dabei stark aufquellende Kalk bildet einen weißen, zarten Brei, Kalkbrei, Weißkalk, ein Gemenge von fein zertheiltem Kalkhydrat und Kalkwasser. Verdünnt man den Kalkbrei so mit Wasser, daß dasselbe nicht zur vollständigen Lösung des Kalkhydrats ausreicht, so erhält man eine milchige Flüssigkeit, Kalkmilch, eine Emulsion von festem Kalkhydrat und Kalkwasser.

Von Mategcek[1]) rührt eine Tabelle her über das specifische Gewicht der Kalkmilch, welche von Dr. Lunge als ungenau bezeichnet wird; dafür veröffentlicht letzterer[2]) eine von seinem Schüler Blattner nach genauen Bestimmungen zusammengestellte Tabelle, welche wir hier wiedergeben:

Tabelle über den Gehalt der Kalkmilch an Aetzkalk bei 15° C.

Grade Beaumé	Gewicht von 1 Liter Kalkmilch	CaO in 1 Liter	CaO Gewichtsprocente	Grade Beaumé	Gewicht von 1 Liter Kalkmilch	CaO in 1 Liter	CaO Gewichtsprocente
1	1007	7,5	0,745	16	1125	159	14,13
2	1014	16,5	1,64	17	1134	170	15,00
3	1022	26	2,54	18	1142	181	15,85
4	1029	36	3,50	19	1152	193	16,75
5	1037	46	4,43	20	1162	206	17,72
6	1045	56	5,36	21	1171	218	18,61
7	1052	65	6,18	22	1180	229	19,40
8	1060	75	7,08	23	1190	242	20,34
9	1067	84	7,87	24	1200	255	21,25
10	1075	94	8,74	25	1210	268	22,15
11	1083	104	9,60	26	1220	281	23,03
12	1091	115	10,54	27	1231	295	23,96
13	1100	126	11,45	28	1241	309	24,90
14	1108	137	12,35	29	1252	324	25,87
15	1116	148	13,26	30	1263	339	26,84

Reines trockenes Calciumoxyd nimmt in vollkommen trockener Luft bei gewöhnlicher Temperatur keine Kohlensäure auf; bei höherer Temperatur sind da-

[1]) Mategcek, Dingl. pol. J. 250, 464.
[2]) Lunge, Dingl. pol. J. 250, 464.

gegen beide im Stande, sich mit einander zu verbinden. Rose[1]), Vogel[2]), Debray[3]) fanden, daß trockener Aetzkalk nahe unter der Rothgluth Kohlensäure absorbirt. Nach K. Birnbaum und M. Mahn[4]) wird vom wasserfreien Calciumoxyd unter gewöhnlichem Luftdrucke Kohlensäure gebunden bei der Temperatur, bei welcher Zink schmilzt (415° C.); eine bestimmte Menge Kohlensäure wird hierbei nicht aufgenommen, im Allgemeinen um so mehr, je länger die Einwirkung dauert. Das von den Genannten beobachtete Maximum der Kohlensäureabsorption beträgt etwas mehr als die Hälfte der Kohlensäuremenge, welche der Kalk zur Bildung des neutralen Carbonats bedurfte. Bei zwei Versuchen nahm die Menge der absorbirten Kohlensäure bei längerem Erhitzen wieder ab, da selbst das fertig gebildete neutrale Calciumcarbonat bei der Temperatur des schmelzenden Zinks nicht mehr ganz beständig ist.

Erhitzt man gebrannten Kalk in einem Kolben bis zum Weichwerden des Glases, nimmt alsdann das Feuer weg und läßt sofort einen raschen Strom trockener Kohlensäure darauf wirken, so absorbirt der Kalk die Kohlensäure mit einer außerordentlichen Energie und wird in wenigen Augenblicken glühend. Bei Anwendung von 100 g Kalk kann das Erglühen 1/4 Stunde dauern; hierbei entsteht nicht neutrales, sondern ein basisches Calciumcarbonat (Raoult F. M.[5]).

Wie das reine Calciumoxyd verhält sich auch das Kalkhydrat, dasselbe nimmt im ganz trockenen Zustande keine Kohlensäure auf, wenn dieselbe ebenfalls trocken ist. Ist aber das Kalkhydrat oder die Kohlensäure feucht, so findet Absorption statt. Wenn daher der gebrannte Kalk an der Luft liegt, so nimmt derselbe allmälig Wasser und Kohlensäure auf und zerfällt in Folge dessen langsam zu Pulver, zerfallener Kalk; derselbe vermehrt hierbei sein Volumen etwas und verschlechtert sich bedeutend, oder wie man sagt, er stirbt ab. Das entstandene Pulver ist aber nicht wie beim gewöhnlichen Löschen, fein, sondern fühlt sich rauh an und ist mit kleinen, ziemlich harten Körnern untermischt. Beim Liegen an der Luft verwandelt sich der gebrannte Kalk mit der Zeit vollständig in Calciumcarbonat, und entsteht nicht, wie v. Fuchs[6]) angenommen hat, eine Verbindung von der Zusammensetzung: $CaCO_3 . Ca(OH)_2$. Wittstein[7]). Man muß daher den gebrannten Kalk bei der Aufbewahrung möglichst gegen den Zutritt der Luft schützen. Wie dieses geschieht, wird später angegeben werden.

Setzt man Kalkwasser der Luft aus, so absorbirt dasselbe rasch die Kohlensäure, und die Flüssigkeit bedeckt sich alsbald mit einem Häutchen (Kalkhaut) aus Calciumcarbonat bestehend, welches allmälig zu Boden sinkt; dieser Proceß setzt sich so lange fort, bis alles Calciumoxyd als Calciumcarbonat ausgefällt ist. Aus diesem Grunde muß das Kalkwasser immer in gut verschlossenen Gefäßen aufbewahrt werden.

---

1) Rose, Pogg. Annal. 86, 280.
2) A. Vogel, Jahresber. f. Chemie 1850, S. 126.
3) Debray, Zeitschrift f. Chemie 1867, S. 302.
4) K. Birnbaum u. M. Mahn, Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1879, S. 1547.
5) Raoult, Compt. rend. 92, 189 u. 1111. Jahresber. d. Chem. 1881, S. 207.
6) Erdmann's J. f. technische u. ökonomische Chemie 6, 1 bis 26 ff.
7) Wittstein, Ann. Chem. Pharm. 97, 224.

Wird Kalkbrei der Luft ausgesetzt, so verwandelt sich derselbe in Folge der Kohlensäureaufnahme nach und nach in eine harte Masse. Die Umwandlung des Kalkhydrats in Calciumcarbonat geht aber hierbei nicht so rasch von Statten wie beim Kalkwasser, weil das erzeugte Carbonat das feste Hydrat einhüllt, und dasselbe dadurch der Kohlensäure weniger leicht zugänglich ist.

Was die Eigenschaften des aus den gewöhnlichen Kalksteinen erzeugten Aetzkalkes betrifft, so sind dieselben zunächst abhängig von der Natur und den Nebenbestandtheilen des Kalkes, dann aber auch von der Art des Brennens, von der Einmischung der Asche mit dem Kalk und vom richtigen Hitzegrade.

War der angewandte Kalkstein beinahe rein, so hat der gebrannte Kalk auch eine weiße Farbe; gewöhnlich aber ist seine Farbe etwas graugelblich, weil er stets etwas Thon und Eisenoxyd enthält. Bei einem größeren Gehalt an Eisen- und Manganverbindungen ist der gebrannte Kalk dann oft gelblich oder gelb.

Ein größerer Gehalt an Magnesia sowie an Thon und Kieselerde verursacht, daß der gebrannte Kalk sich langsamer, träger löscht, dabei weniger Wärme entwickelt und sein Volumen nicht so bedeutend vermehrt, d. h. weniger gedeiht. Man unterscheidet daher zwischen fettem und mageren Kalk, und nennt ihn mager, wenn er nach dem Löschen mit Wasser ein rauhes körniges Pulver oder einen körnig oder sandig sich anfühlenden Brei bildet und fett, wenn er sich zu einem zarten unfühlbaren Mehl oder Brei löscht.

Was den Einfluß des Brennens auf die Qualität des Kalkes betrifft, so kann es vorkommen, daß beim Brennen eine zu geringe oder eine nicht genügend lange andauernde Hitze angewendet wurde (z. B. bei großen Stücken Kalkstein), so daß dann der Kalk nicht vollständig gar gebrannt ist und noch unzersetztes Calciumcarbonat einschließt, welches sich mit Wasser nicht löscht. Durch unvollkommenes Brennen kann selbst ein reiner Kalk mager werden.

Wie schon oben erwähnt, ist der reine Kalk selbst in den höchsten Ofentemperaturen unschmelzbar, er sintert nicht; Beimengung von Magnesia ändert nichts, da die Magnesia ebenso unschmelzbar ist wie der Kalk. Ein Gehalt an Kieselerde oder Thon kann aber, wenn der Kalkstein bei sehr hoher Temperatur gebrannt wird, verursachen, daß der Kalk in Folge einer Silicatbildung sintert; solch gesinterter Kalk löscht sich dann oft gar nicht mehr mit Wasser und man nennt ihn todtgebrannt. Eine oberflächliche Sinterung des Kalkes kann aber auch eintreten, wenn dem natürlichen Kalkstein Thon äußerlich anhängt oder wenn er im Ofen mit thonhaltiger Asche (beim Brennen in Kalköfen mit kleiner Flamme) in Berührung war, wodurch sich ein glasartiger Ueberzug an den Kalksteinen bildet, der dann das Eindringen des Wassers und dadurch das Löschen verhindert. Solche Steine werden, wie auch die ungaren, ebenfalls als todtgebrannt bezeichnet. Selbstverständlich kann ein nur oberflächlich gesinterter Kalk zum Löschen gebracht werden, wenn man ihn zerschlägt. Welchen Einfluß die Art des Löschens äußert, wird beim Luftmörtel besprochen werden.

Für die Praxis gilt daher als Regel, daß, richtiges Brennen und Löschen vorausgesetzt, sich ein Kalk um so fetter verhält, je reiner derselbe ist. Auch die Zunahme des Volumens, die der Kalk beim Löschen zeigt, ist von seiner Fettigkeit abhängig; je fetter, desto größer die Zunahme des Volumens.

7. Aufbewahren des gebrannten Kalkes.

Da der gebrannte Kalk, wie bereits erwähnt, beim Liegen an der Luft allmälig Wasser und Kohlensäure aufnimmt und abstirbt, so muß er entweder frisch verwendet werden, oder wenn dieses nicht möglich ist, bis zur Verwendung derart sorgfältig aufbewahrt werden, daß er vor Feuchtigkeit und Kohlensäure der atmosphärischen Luft geschützt ist. Ein einfaches und gutes Verfahren besteht darin, daß man den Kalk in dem Ofen selbst aufbewahrt, indem man letzteren möglichst dicht verschließt. Man kann auch den gebrannten Kalk sofort nach dem Brennen kalt in Fässer schlagen und an einem trockenen Orte aufbewahren. Bei großen Massen geschieht die Aufbewahrung in besonderen Magazinen, welche dicht verschlossen werden können, einen gedielten Fußboden haben müssen und so selten als möglich geöffnet werden dürfen.

Von Vikat ist ein Verfahren angegeben worden zur Aufbewahrung des Kalkes, welches darin besteht: Man breitet zunächst eine 15 bis 20 cm dicke Schicht Kalk, die durch Anfeuchten zu Pulver zerfallen ist, auf dem Boden eines Schuppens aus, dessen Boden natürlich gegen Zutritt von Feuchtigkeit geschützt ist. Auf diese Schicht stapelt man die Kalkstücke auf und schlägt sie mit geeigneten Hölzern so dicht als möglich zusammen. Man bedeckt dann den oben mit geringer Neigung sich abdachenden Haufen mit einer Decke von Kalk, den man eben angefeuchtet hat. Indem letzterer zu Pulver zerfällt, das sich in die Zwischenräume der gebrannten Kalksteine legt und letztere umhüllt, wird der nicht befeuchtete Kalk vor dem Zutritt der Luft und Feuchtigkeit geschützt. Bei einem mit 60 cbm Kalk angestellten Versuche hat sich dieses Verfahren als gut erwiesen, da nach fünf Monaten eines beständig nassen Winters Kalk, aus dem Haufen gezogen, sich unter Erhitzung gut löschte.

8. Anwendung des gebrannten Kalkes.

Die wichtigste und allgemeinste Verwendung findet der gebrannte Kalk zur Herstellung des Luft- und Wassermörtels. Ferner ist seine Anwendung noch eine sehr mannigfaltige, und in allen Fällen gründet sich dieselbe darauf, daß der Kalk eine starke Base ist, welche überall leicht und billig zu beschaffen ist und durch einfaches Begießen mit Wasser sehr fein zertheilt wird, welche Form für seine Anwendung namentlich günstig ist.

Zu vielen Anwendungen eignet sich der Kalk auch deswegen, weil er mit Kohlensäure und Schwefelsäure unlösliche oder schwer lösliche Verbindungen eingeht, und deswegen wieder leicht, entweder durch Kohlensäure oder Schwefelsäure entfernt werden kann.

So dient der Kalk in der chemischen Industrie zur Darstellung der Aetzalkalien (Aetzkali und Aetznatron), des Ammoniaks (Salmiakgeist), des Chlorkalks,

des Kaliumchlorats, der Essigsäure, Oxalsäure, Citronensäure, Weinsteinsäure, zur Fabrikation der Soda nach Leblanc, der Soda und des Alauns aus Kryolith, des Stearins &c. Dann zum Läutern des Rübensaftes, zur Glasbereitung, als Zusatz zur Schlackenbildung in den Eisenhohöfen und anderen metallurgischen Processen, zum Enthaaren der Häute in der Gerberei, in der Bleicherei zum Bäuchen der Baumwollgewebe, in der Färberei zur Bereitung der Indigküpen, für feuerfeste Tiegel, zu Kitten, als Polirmittel (Wiener Kalk ist geglühter Dolomit) u. s. w.

II.

Mörtel.

Mit Mörtel[1]) oder Speise (Mauerspeise, Mauerzeug) im weiteren Sinne bezeichnet man die aus Kalk, Cement, Gyps ꝛc. mit Sand oder anderen Zuschlägen unter Mithülfe von Wasser erzeugten breiartigen Gemenge, welche zur Verbindung von Bausteinen, zum Verputz ꝛc. verwendet werden. Man spricht daher von Kalk-, Cement-, Gyps- ꝛc. Mörtel. Gewöhnlich aber unterscheidet man, je nach den Bedingungen, unter welchen der Mörtel erhärtet, zwischen Luftmörtel, welcher nur bei solchen Bauten angewendet werden kann, die nur der Einwirkung der Luft ausgesetzt sind, und Wassermörtel oder hydraulischem Mörtel, welcher auch der Einwirkung des Wassers zu widerstehen vermag.

1. Luftmörtel.

Der Luftmörtel (gemeiner Mörtel, gewöhnlicher Kalkmörtel) ist ein Gemenge von Kalkbrei und Sand, welcher an der Luft durch allmälige Umwandlung des Kalkhydrats in Calciumcarbonat steinartig erhärtet. Bei Bauten unter Wasser kann derselbe deswegen keine Anwendung finden, weil der Kalk vom Wasser gelöst und dadurch der Sand bloß gelegt wird.

Die gute Beschaffenheit des Luftmörtels hängt ab von der Beschaffenheit der dazu verwendeten Materialien, des Kalkes, Sandes und des Wassers, sowie von

---

[1]) Das Wort Mörtel, zuerst im 11. bis 12. Jahrhundert auftauchend, leitet sich vom lateinischen „mortarium" der Mörser, die Mörtelpfanne, dem Gefäße, worin die Mischung und Bearbeitung von Kalkbrei und Sand vorgenommen wurde, her (Michaëlis).

dem Löschen des Kalkes, ferner noch von der Art und Weise der Zubereitung und Anwendung des Mörtels, d. h. von der gleichmäßigen Vertheilung des Kalkhydrats in dünnen Schichten zwischen dem Sande.

Zum Luftmörtel eignet sich am besten der sog. fette Kalk. Das Löschen desselben soll immer so ausgeführt werden, daß ein sehr fetter, speckiger Brei entsteht, daß also die größtmöglichste Vertheilung und Volumvermehrung stattfindet, was bei einem mageren Kalke (magnesia- und thonhaltigem) nie in dem Maße erreicht wird, dieser gedeiht nicht so. Das richtige Löschen des Kalkes ist daher eine Hauptsache.

Wie bereits S. 56 angeführt wurde, ist Wolters[1]) der Ansicht, daß nur die vereinigte Wirkung von Wasser und Wasserdampf im Stande sei, Kalk in Kalkbrei zu verwandeln; auch besteht allgemein die Annahme, daß durch Uebergießen des Kalkes mit zuviel Wasser auf einmal — was man Ersäufen des Kalkes nennt — die Bildung eines Breies unmöglich gemacht werde, weil von vornherein eine zu große Abkühlung damit bewirkt und in Folge dessen die Bildung von Wasserdampf unmöglich gemacht wird, Kalkbrei daher nicht entstehen könne. Nach Michaëlis[2]) steht diese Annahme im Widerspruch mit seinen Beobachtungen, nach ihm bildet sich — bei gut löschendem Kalk wenigstens — ein ebenso vollkommener Kalkbrei, aber derselbe bildet sich nur viel langsamer; mit der Bezeichnung Ersäufen soll nur gemeint sein, daß der sonst schnell verlaufende Proceß erheblich verlangsamt wird. Es sei keineswegs die Mitwirkung von Wasserdämpfen zur Kalkbreibildung nothwendig, denn man kann die zehnfache Wassermenge auf einmal auf den Kalk bringen und man wird ohne nennenswerthe Temperaturerhöhung — förmlich unter Wasser — vollkommenen Kalkbrei bilden, allerdings in viel längerer Zeit als bei erhöhter Temperatur. Wolters hat zur Stütze seiner Ansicht, daß überhaupt nur bei hoher Temperatur in Folge gleichzeitiger Dampfbildung richtiger Kalkbrei entstehen könne, angeführt, daß niemals Kalkmörtel oder dem Aehnliches gebildet werde, wenn man gepulverten Aetzkalk und Sand vorher innig in denselben Verhältnissen wie im gewöhnlichen Kalkmörtel mische und dann Wasser hinzufüge. Hierzu bemerkt Michaëlis, daß er 10 Gewthle. Kalk mit 90 Gewthln. Sand gemischt und dann 30 bis 40 Gewthle. kalten Wassers hinzugefügt habe und daß hierbei ein ganz vollkommener Mörtel erhalten wurde — bei einer Temperaturerhöhung von circa 20 bis 30°. Soviel steht allerdings fest, daß man am sichersten und besten guten Kalkbrei erhält, wenn man das Löschen so bewerkstelligt, daß nach Möglichkeit alle Abkühlung vermieden wird und daß es das Beste wäre, gleich von vornherein heißes Wasser zum Löschen des Kalkes zu verwenden, wobei es schon genügte, nur das zuerst aufzugebende Wasser, etwa $1/3$ des ganzen Wasserquantums heiß anzuwenden, weil das später zuzusetzende Wasser durch den einmal eingeleiteten Proceß schnell erwärmt wird. Alles, was die Temperaturerhöhung bei der Kalkbreibildung vermindert, wirkt verzögernd auf den Proceß ein und insofern ist es auch ganz verwerflich, wenn gleich beim Löschen des Kalkes Sand in die Löschbank mit eingeworfen wird, denn

[1]) Dingl. pol. J. 196, 344.
[2]) Notizblatt des Ziegler- und Kalkbrenner-Vereins 1882, S. 67.

dieser Sandzusatz bewirkt Abkühlung und stört die Energie des Löschprocesses. Michaëlis weist mit Recht darauf hin, wie wichtig es ist, daß das Löschen des Kalkes so vollkommen als möglich ausgeführt werde; für gewöhnlich wird der erzeugte Kalkbrei innerhalb eines Tages schon zu Speise verarbeitet und vermauert; es kommen in der Praxis nicht selten sehr schwer sich löschende Kalke vor, welche auf die gewöhnliche Weise behandelt, nur einen unvollkommenen Kalkbrei mit vielem Kalkgries geben; ein damit erzeugter Mörtel ist aber dann nachträglichen Volumveränderungen unterworfen, welche unter Umständen eine hohe Gefahr für das damit aufgeführte Bauwerk, nämlich vollständige Zerstörung, bewirken können.

Das Löschen des gebrannten Kalkes geschieht gewöhnlich auf die Weise, daß man ihn in der flachen, aus Bohlen oder Brettern zusammengefügten Löschbank (Löschkasten) mit der erforderlichen (etwa der dreifachen) Menge Wasser übergießt, so daß der Kalk zum Theil eingetaucht liegt; fängt der Kalk an, unter Ausstoßen von Dampf und Zischen zu zerfallen, so wird der Kalk und das Wasser mittelst der Löschkrücke kräftig durchgerührt, bis das Ganze eine flüssige Masse geworden, worauf die entsprechende Menge Sand zugesetzt wird.

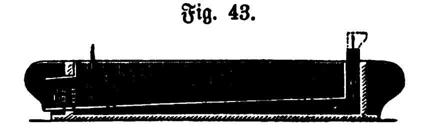
Besser ist das Verfahren, namentlich wenn schwer löschender Kalk schnell in guten Kalkbrei verwandelt werden soll, daß man das zum Löschen des Kalkes erforderliche Wasser, etwa die drei- bis vierfache Gewichtsmenge, nicht auf einmal aufgiebt, sondern etwa $1/3$ zunächst, wodurch bezweckt wird, baldmöglichst eine erhöhte Temperatur zu erzielen und mit dieser das übrige noch hinzuzufügende Wasser zu erwärmen, denn sobald erst einmal der Proceß der chemischen Wasserverbindung eingeleitet ist, wird eine bedeutende Hitze entwickelt, welche so beträchtlich ist, daß ein großer Antheil des Wassers bei gut löschendem Kalke in Dampfform entwickelt wird; giebt man demnach die übrigen $2/3$ des benöthigten Wassers nach Eintritt dieser heftigen Reaction hinzu, so genügt die entwickelte Wärme, schnell dieses Wasser auf 100^0 zu erhitzen, der Proceß des Löschens vollendet sich stürmisch und es wird, namentlich wenn man durch Bedecken der Löschbank die Wärme gut zusammenhält, in kurzer Zeit ein guter Kalkbrei gebildet.

Bisweilen verfährt man beim Löschen auch so, daß man den in kleine Stücke zerschlagenen Kalk in einem Korbe nur einige Secunden ins Wasser taucht, so daß er nur soviel Wasser bekommt, als er einsaugen kann; dann wird der Korb herausgezogen und sein Inhalt in ein Faß oder in einen Kasten geschüttet, worin der Kalk unter sehr starker Erhitzung zu einem trockenen Pulver zerfällt, welches erst nachträglich durch Zusatz von Wasser in Brei verwandelt wird. Dieses Verfahren ist nicht zu empfehlen, weil es das Gedeihen des Kalkes weniger befördert; der durch Eintauchen gelöschte Kalk fühlt sich zum Theil wie Sand an, er ist, wie die Maurer sich ausdrücken, verbrannt.

Das Löschen von magerem Kalke nimmt man, um die Wärme zusammenzuhalten, auch unter einer Sanddecke vor; zu diesem Zwecke bringt man den Kalk in Haufen und überdeckt diese mit Sand, der mit Wasser übergossen wird; man muß dafür sorgen, daß der Kalk an keiner Stelle ohne Sand mit der Luft in Berührung komme. (Trocken gelöschter Kalk).

G. Hilke[1]) in Freienwalde a. d. Oder hat sich eine Löschbank patentiren lassen (D. R.-P. Nr. 10181 vom 12. Dec. 1879), welche den Kalk mit heißem Wasser zu löschen bezweckt. Fig. 43 veranschaulicht diese Löschbank. In einem hölzernen Kasten ist ein auf eisernen Stützen stehender eiserner Trog *A* von 5 mm Wandstärke derart befestigt, daß der zwischen beiden frei bleibende Raum oben wasserdicht geschlossen ist. Das zum Löschen bestimmte Wasser wird durch den Canal *e* unter den eisernen Kasten geleitet, durch die Hitze des sich löschenden Kalkes vorgewärmt, steigt an den Seitenwandungen auf und rieselt durch 2 cm große, 5 cm von der Oberkante des eisernen Kastens angebrachte Löcher in denselben, um den darin befindlichen Kalk gleichmäßig und schnell zu löschen. Der erhaltene Kalkbrei wird dann durch den mit Schieber versehenen Abzug *o* abgelassen.

Fig. 43.



Nach Michaëlis wäre die vollkommenste Methode, Kalkbrei zu erzeugen, diejenige, wo derselbe unter Anwendung von Hochdruck erzeugt wird. Im Allgemeinen kann man annehmen, daß bei richtigem Löschen 1 cbm fetter Kalk 2,5 bis 3 cbm und 1 cbm magerer Kalk 1,5 bis 2 cbm steifen Kalkbrei liefert.

Gestatten es der Raum und die Zeit, so ist auch sehr zu empfehlen, den Kalkbrei vor seiner Verwendung zur Mörtelbereitung einzusumpfen, d. h. ihn in einer Grube, deren Sohle durchlässig ist, noch einige Zeit sich selbst zu überlassen. Dieses bietet den Vortheil, daß einzelne trägere Kalktheilchen, die während des Löschens der Hydratisirung entgangen waren, noch nachträglich nachlöschen. Zugleich versickert in den Boden ein großer Theil der wässerigen im Kalkbrei enthaltenen Lösung von Alkalien und deren Salzen, welche leicht zu Auswitterungen am Mauerwerk Veranlassung geben können. Durch das Einsumpfen wird der Kalkbrei demnach entschieden verbessert. Ein gesumpfter Kalkbrei erscheint immer speckiger als frisch bereiteter und er ist immer besser, je älter er wird. Bedeckt man den Kalkbrei in der Grube einige Centimeter dick mit Sand, so hält sich der Kalk ganz unverändert. Als man in den Ruinen des Schlosses Landsberg im Meiningenschen aufräumte, um den Grund zu einem Neubau zu legen, fand sich unter einem Gewölbe eine noch gefüllte Kalkgrube von beträchtlichem Umfange. Die Oberfläche dieser 300 Jahre eingesumpften Kalkmasse war circa 5 cm tief mit Kohlensäure gesättigt, alles Uebrige dagegen war in dem Zustande des frisch gelöschten Kalkes, nur etwas trockener und ohne Weiteres verwendbar (Jahn[2]).

Der reine Kalkbrei, an der Luft sich selbst überlassen, erhärtet ebenfalls unter Abgabe von Wasser und Aufnahme von Kohlensäure, aber derselbe schwindet sehr stark, bekommt viele Risse und zerklüftet sich sehr. Da die Bausteine aber auch auf ihrer Oberfläche oft sehr große Unebenheiten haben, welche mit

[1]) Dingl. pol. J. 238, 145.
[2]) Knapp, Lehrbuch der chem. Technologie, 3. Auflage, 1, 755.

Mörtel ausgefüllt werden müssen, wozu dicke Lagen von Kalkbrei nöthig sind, welche beim Austrocknen schwinden und Klüfte verursachen, so wird, um diesem vorzubeugen und um ferner den Verbrauch und die Kosten an Kalk zu verringern, der Kalkbrei immer mit Sand versetzt. Als **Sand** verwendet man Quarz-, Kalk-, Dolomit- 2c. Sand, auch wohl Steinkohlenasche, gepochte Eisenhohofenschlacken. Der Sand soll möglichst frei sein von erdigen Beimengungen (Lehm, Thon, Erde 2c.) und organischen humusartigen Stoffen, indem dieselben die Berührung des Sandes durch den Kalkbrei hindern und dadurch die Adhäsion beeinträchtigen; erdiger Sand sollte immer vor dem Gebrauche durch Waschen von diesen Beimengungen gereinigt werden. Dem runden Sande zieht man oft den eckigen und kantigen Sand vor, wohl ohne Grund; daß der Kalkbrei an Sandkörnern mit rauhen Flächen besser adhärirt als an solchen mit glatten, ist begreiflich, daß aber die Kanten und Ecken die Adhäsion zu vermehren im Stande sein sollen, ist nicht wahrscheinlich. Auch ist nicht richtig, daß Quarzsand einen besseren Mörtel giebt als Kalksand, wie oft angenommen wird, denn die Erfahrung lehrt, daß auch Kalk- und Dolomitsand einen Mörtel von außerordentlicher Härte giebt.

Von Wichtigkeit dagegen ist die Größe der Sandkörner. Man unterscheidet hinsichtlich der Korngröße feinen, mittelgroben (Kiessand) und ganz groben Sand (Kies, Grand, Schotter, Grus). Ganz grober Sand, wie er zu Bruch- und Feldstein-Mauerwerk angewendet wird, bildet zu große Zwischenräume, in welchen der Kalk zu viel Masse hat und mürbe bleibt; um dieses zu verhüten, sollte man dem groben Sande immer auch etwas feinen Sand zusetzen. Der alleinige Zusatz von feinem Sande ist wohl gut bei Mörtel für Mosaikfußböden, wo es sich um enge und gut passende Fugen handelt, derselbe ist aber nicht anwendbar für Mörtel bei gewöhnlichen Bauten, wo er stärkere Lagen und mehr massige Ausfüllungen bildet; für letztere sollte man grobkörnigen und feinkörnigen Sand zugleich anwenden.

Von Einfluß auf die Qualität und den Grad des Erhärtens des Luftmörtels ist auch das **Verhältniß des Sandes zum Kalk**; dasselbe richtet sich hauptsächlich nach dem Grade der Fettigkeit des Kalkes, welcher als nasser Brei die Zwischenräume zwischen den Sandkörnern anfüllt. Je fetter der Kalk ist, desto mehr Sand verträgt er. Es gilt als Regel, bei Luftmörtel so viel Kalkbrei anzuwenden, daß die Zwischenräume zwischen den Sandkörnern gerade vollständig damit ausgefüllt werden, oder mit anderen Worten, daß dem Sande so viel Kalkbrei beigemengt werden soll, daß das Volumen des fertigen Mörtels nicht größer sei, als das des verwendeten Sandes. Werden die Zwischenräume des Sandes mit zu viel Kalkbrei angefüllt, so schwindet oder reißt die Mörtelmasse im Ganzen; nimmt man weniger Kalk, als zur vollständigen Ausfüllung der Zwischenräume nöthig ist, so findet keine vollständige Zusammenkittung der Sandkörner statt, der Mörtel erhält dann eine geringere Festigkeit. Die Größe der Zwischenräume kann man leicht dadurch kennen lernen, daß man ein tarirtes Gefäß mit dem angefeuchteten Sande gestrichen anfüllt, dann allmälig so viel genau gemessenes Wasser zugießt, bis es dem Rande des Gefäßes gleich steht. Der Rauminhalt des zugegossenen Wassers ist gleich den Zwischenräumen des Sandes.

In der Praxis rechnet man auf 1 cbm steifen Kalkbrei (aus fettem Kalk) 3 bis 4 cbm Sand (etwa 6 Thle. dem Gewichte nach), bei magerem nimmt man auf 1 cbm $1^1/_2$ bis 2 cbm Sand, weil der magere Kalk fremde Gemengtheile enthält, die im Mörtel die Wirkung von Sand haben.

Nach Dr. Ziurek sollen zur Herstellung eines dauerhaften und guten Kalkmörtels die Mörtelsubstanzen in solchen Mischungsverhältnissen zusammenzusetzen sein, daß der trockene Mörtel 13 bis 15 Proc. Kalkhydrat enthält.

In Betreff des Wassers ist zu bemerken, daß es frei von Salzen sein soll, weil es sonst Veranlassung zur Entstehung von Auswitterungen giebt. Enthält z. B. das Wasser Kochsalz, wie das Meerwasser, so wittert auf den Mauern Natriumcarbonat aus und nebenbei entsteht Chlorcalcium, ein sehr zerfließliches Salz, welches die Wände und die Mauern feucht hält. Hier und da besteht auch die Ansicht, als sei das gewöhnliche Quellwasser von Nachtheil für die Bereitung des Mörtels, indem durch die in dem Quellwasser enthaltene Kohlensäure Calciumcarbonat gebildet und der Mörtel verdorben würde. Dieses ist jedenfalls unbegründet, indem die Menge der in den gewöhnlichen Wassern enthaltenen Kohlensäure nie sehr bedeutend ist, und eine geringe Menge Calciumcarbonat dem Mörtel keinen Nachtheil bringt.

Gewöhnlich mischt man den Sand erst dem Kalke zu, wenn dieser vollkommen gelöscht ist; manchmal geschieht es aber, daß man den Sand gleich beim Löschen des Kalkes in die Löschbank mit einwirft; dieses ist ganz zu verwerfen, weil der Sandzusatz Abkühlung bewirkt und die Energie des Löschprocesses stört; wird dann ein so bereiteter Mörtel, der noch nicht vollkommen gelöschte Kalktheilchen enthält, zu schnell vermauert, so entstehen nachträglich noch Volumveränderungen, die von Nachtheil für das Bauwerk sein können.

Selbstverständlich ist die vollkommene innige Durcheinandermengung des Kalkbreies und Sandes ein Haupterforderniß, so daß ein durchaus homogenes Gemisch entsteht; da dieses bei großen Bauten, wo man große Massen von Mörtel nothwendig hat, oft schwierig ist, so bedient man sich bei diesen eigens construirter Mörtelmaschinen.

Die Mörtelmaschinen sind entweder nach Art einer gewöhnlichen Thonmühle construirt oder es sind Göpel mit Wagenrädern oder mit Kratzen, die in einem kreisrunden Troge laufen.

Eine bei größeren Bauten benutzte Mörtelmühle ist die von dem französischen Architekten Roger construirte, welche in Fig. 44 (a. f. S.) in einem senkrechten Durchschnitte nach *a*, *b*, in Fig. 45 (a. S. 71) und 46 (a. S. 72) in zwei Horizontalschnitten dargestellt ist [1]).

In einer hölzernen Tonne von 1 m Höhe und 0,7 m lichter Weite, deren Boden eine gußeiserne Platte *B* mit 16 schlitzförmigen Oeffnungen bildet, steht eine senkrechte Welle *C*, die durch Pferde- oder Maschinenkräfte von *F* aus mittelst conischer Räder *E* gedreht wird. Die an der Welle sitzenden vier oberen Arme *a a* sind aus 10 cm Flacheisen abwechselnd nach unten und nach oben gerichtet zur vorläufigen Mischung der Materialien, welche man oben eingiebt. Die

---

1) Heusinger u. Waldegg, Die Kalk- und Cementfabrikation 1875, S. 104.

eigentliche Mischung geschieht durch drei Sätze sternförmiger und mit rechenartigen Zinken besetzter Rühreisen *bb*, von denen der mittlere Satz nicht auf der Welle, sondern an der Tonnenwand sitzt. Der gemischte Mörtel gelangt nach der unteren sternförmigen Scheibe *D*, um von derselben gegen die gußeiserne Bodenplatte *B* gedrückt zu werden, wobei derselbe in seinen nicht vollständig feinen Mengtheilen gerieben wird und dann als zäher, durchaus gleichförmiger Brei durch die Oeff-

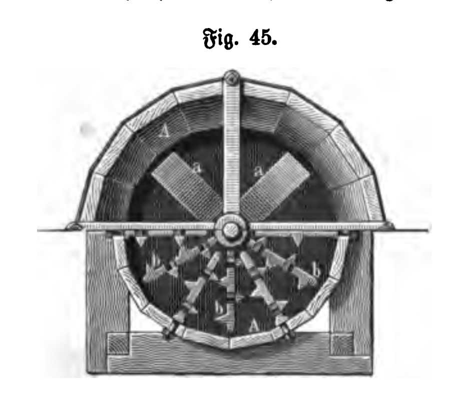


Fig. 44.

nungen der Bodenplatte in das darunter befindliche Reservoir läuft. — Unmittelbar über der sternförmigen unteren Scheibe ist an der vorderen Seite eine durch einen eisernen Schieber *c* verschlossene Oeffnung angebracht, welche lediglich zum Reinigen des Innern dient, was bei gewöhnlichem Kalkmörtel zwar nicht erforderlich, aber beim Cementmörtel nothwendig ist. Für diese Maschine ist nur ein Arbeiter erforderlich, der die abgemessenen Materialien in bestimmter Reihenfolge eingiebt und den producirten Mörtel unten auf die Mörtelbank zieht.

In neuerer Zeit sind von der bekannten Firma C. Schlickeysen in Berlin Mörtelmaschinen nach Art der horizontal liegenden Thonschneider ausgeführt worden. Eine solche mit Dampfbetrieb (Fig. 47 a. S. 73) zu 5 bis 6 Pferdekräften liefert pro Stunde 5 bis 7 cbm Mörtel; sie besteht aus einem liegenden eisernen Cylinder von 300 mm lichter Weite, 1,2 m lang, mit durchgehender Messerwelle mit Hartguß-Messern und ist am Ausfluß mit durch ihr Gewicht denselben regulirender Klappe versehen; auf den Einwurf ist ein hoher Trichter aufgesetzt, in welchem ein horizontaler Vormischer liegt, dessen Arme zwischen den darunter sich drehenden Hauptmessern durchschlagen, und da sie sich dreimal so schnell wie diese drehen, den aufgeworfenen Sand und Kalk durcheinander schleudern. Die Messerwelle macht per Minute circa 50 Touren.

Fig. 45.



Die Maschine wird auf einem 1,8 m hohen Podium aufgeschraubt; über dieselbe hebt von einer Seite ein Sandelevator, von der anderen eine schräg ansteigende volle Kalkschnecke, deren Einwurftrichter unmittelbar auf dem Rande der Kalkgrube ruht, die Materialien; diese fallen oben einzeln durch Siebkörbe hindurch, welche die verunreinigenden Steine in je einen Kasten sammeln und dann die Materialien auf den Vormischer steinfrei durchlassen. Unter dem Ausfluß ist eine mehrere Meter lange und breite schräge Rutsche, von wo aus der fertige Mörtel mittelst Kratzen in die davor vorbeifahrenden kleinen Waggons mit daraufstehenden Kalkkasten hineingezogen wird. Diese Maschinen erzeugen einen Mörtel von vorzüglicher Mischung bei Ersparniß an Arbeitslohn und dieselben gaben auch Veranlassung, daß jetzt in einigen größeren Städten, z. B. Berlin, Mörtelfabriken errichtet wurden, welche den fertigen Mörtel nach den Bauten liefern.

Eine Mörtelmühle mit selbstthätigem Entleerungsapparat wurde von John und William Fletcher[1]) und ein Mischapparat zur Bereitung von Mörtel von Mitzlaff construirt (D. R.-P. Nr. 10 589 vom 16. Januar 1880).

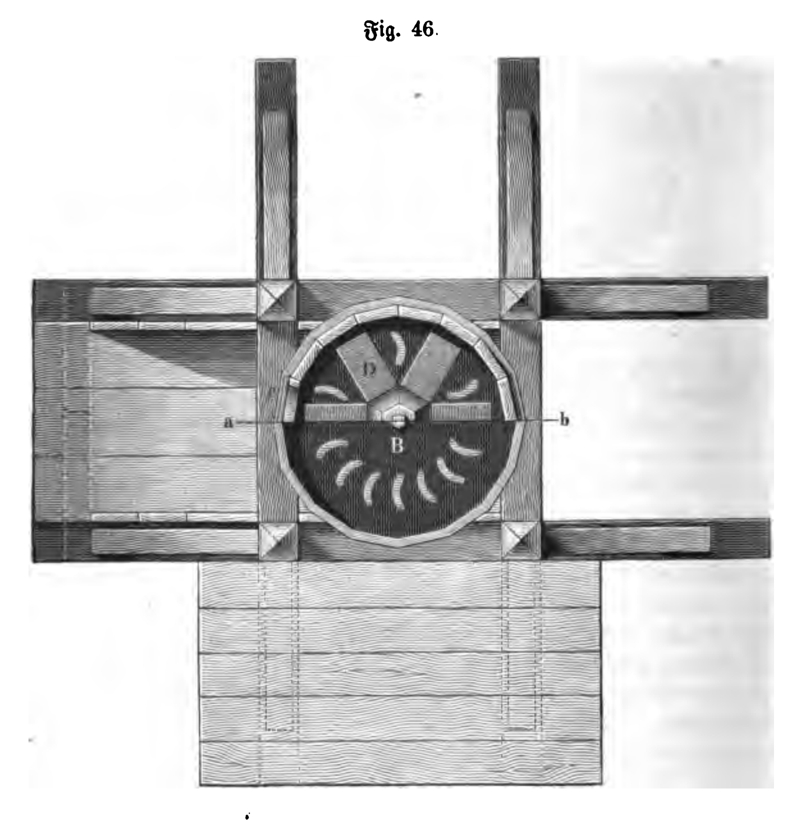
Das Erhärten des Luftmörtels erfolgt in zwei Stadien. Zuerst erstarrt der Mörtel zu einer festen, aber noch weichen und zerreiblichen Masse, Abbinden oder Anziehen; dann folgt eigentliche steinartige Erhärtung der weichen zerreiblichen Masse.

Das Anziehen ist lediglich eine Folge des Austrocknens des Mörtels; die Consistenz ist nur die Folge von dem Zusammenhang, welchen alle fein zertheilten brei- oder schlammartigen Massen, wie Thon u. s. w. annehmen, wenn sie allmälig ihr Wasser verlieren. Bei dem Mörtel ist es wesentlich der durch das

[1]) Polyt. Centralbl. 1871, S. 27.

Löschen überaus fein zertheilte Kalk, die Abhäsion seiner kleinsten Theilchen unter sich, wodurch das Anziehen erfolgt. Diese Abhäsion ist so groß, daß sie auch durch die Einmischung des Sandes, und zwar des sechsfachen Gewichtes vom Kalke, noch nicht aufgehoben wird. Bringt man den Mörtel auf eine saugende Unterlage, z. B. einen gebrannten Backstein, so erfolgt das Anziehen bei Weitem rascher als an

Fig. 46.



der Luft. Gelöschter Kalk ohne Sand verhält sich genau ebenso wie Mörtel und zieht ebenso an. Durch das Anziehen erstarrt der Mörtel in kurzer Zeit so weit, um einer Mauer Widerstand gegen Druck zu verleihen.

Die eigentliche Erhärtung, die Umwandlung des Mörtels in eine feste, steinharte Masse durch Bildung von Calciumcarbonat erfordert dagegen eine viel längere Zeit.

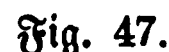
Das Verhalten des Mörtels zur Kohlensäure wurde unter F. Knapp's Leitung von Wolters[1]) eingehend studirt; zu seinen Versuchen verwandte er einen Mörtel, der aus 1 Raumtheil Kalkbrei und 2 Raumtheilen Quarzsand, entsprechend 1 Gewthl. gebranntem Kalk, 3 Gewthln. Wasser und 6 Gewthln.

---

[1]) Dingl. pol. J. 196, 344.

trockenem, mit Wasser und Salzsäure gewaschenem Quarzsand bestand. Hierbei kam er zu folgenden Resultaten.

Frischer Mörtel in einem Glasrohre einem Strome von Kohlensäure ausgesetzt, veränderte sich nach tagelangem Durchleiten nicht, blieb nasser Brei und absorbirte nur Spuren von Kohlensäure. Proben von Mörtel in einer mit feuchter Kohlensäure gefüllten, nicht luftdicht verschlossenen Flasche eingehängt, waren nach acht Tagen noch so weich wie am Anfange und hatten noch nicht ganz 1 Proc. ihres Gewichtes an Kohlensäure absorbirt. Proben desselben Mörtels gleichzeitig an die Luft gelegt, waren hart und hatten viel mehr Kohlensäure aufgenommen unter gleichzeitigem Verlust von Wasser. Wenn man aber auf den Boden der Flasche eine Schicht Schwefelsäure gießt, so daß der Mörtel austrocknen kann, so wird die Kohlensäure rasch aufgenommen (14 Proc. in einem Tage); in gleicher Weise findet eine rasche Aufnahme von Kohlensäure statt, wenn man in die mit Kohlensäure gefüllte Flasche Mörtel mit einem geringeren Wassergehalt einträgt.


Fig. 47.



Vollkommen trockenes Kalkhydrat und völlig trockene Kohlensäure reagiren nicht auf einander. Der Zusatz von einer kleinen Menge Wasser bewirkt aber sofort eine energische Absorption der Kohlensäure durch den Kalk. Bringt man daher scharf getrockneten Mörtel in feuchte atmosphärische Luft oder in ungetrocknete Kohlensäure, so findet eine sehr rasche Aufnahme von Kohlensäure statt; mit der Aufnahme der Kohlensäure geht in diesem Falle auch gleichzeitig eine Aufnahme von Wasser Hand in Hand.

Frisch angemachter Mörtel nimmt daher mit seinem vollen Wassergehalte nicht über $1/2$ Proc. von Kohlensäure auf und ist demnach unfähig zu erhärten. Erst wenn dem Mörtel durch Trocknen Wasser entzogen wird, findet die Aufnahme von Kohlensäure statt und zwar langsam und allmälig, wenn die Trocknung langsam erfolgt, rasch, wenn sie schnell erfolgt. Die Aufnahme von Kohlensäure nimmt nicht in dem Verhältniß des Verlustes an Feuchtigkeit durch Trocknen, sondern in viel rascherem Verhältnisse zu; bei dem Versuche mit Kohlensäure bei Trocknung durch Schwefelsäure verlor der Mörtel vom ersten auf den zweiten Tag 92 Gewthle. Wasser, vom zweiten auf den dritten Tag nur etwas über 2 Gewthle. Wasser; die Kohlensäureaufnahme der ersten Periode war 17 Gewthle., die der zweiten 29 Gewthle.

Die Aufnahme von Kohlensäure durch den Mörtel ist demnach ganz wesentlich von seinem Wassergehalte bestimmt; der Reichthum der umgebenden Atmosphäre an Kohlensäure ist dagegen von ganz untergeordnetem Einflusse. Das Ver-

halten des scharf getrockneten Mörtels führt auf dem umgekehrten Wege zu denselben Schlüssen. Bringt man ihn in feuchte Kohlensäure oder an die Luft, so zieht er bald etwas Wasser an, etwa 3 Proc. in 11 Tagen und die Aufnahme von Kohlensäure tritt energisch ein.

Kalkbrei ohne Sand verhält sich ebenso wie Mörtel; Sand gewährt aber den Vortheil, daß er den Mörtel durchdringlicher, für die Aufnahme von Kohlensäure zugänglicher macht.

Warum der frische Mörtel die Kohlensäure nur langsam aufnimmt, dagegen das Kalkwasser die Kohlensäure sehr rasch anzieht, liegt darin, daß das Kalkwasser in dem breiigen Mörtel nicht so beweglich ist; der frische Mörtel überzieht sich in Berührung mit Kohlensäure sofort mit einer Haut von Calciumcarbonat, welche eine dünne, aber dichte und unbewegliche Hülle bildet, durch welche keine weitere Kohlensäure eindringen kann. Auf der Oberfläche des Kalkwassers bildet die Kohlensäure einen Niederschlag, welcher fortwährend untersinkt und einer neuen Oberfläche Platz macht.

Aus den Versuchen von Wolters geht daher hervor, daß die Intensität der Absorption der Kohlensäure durch den Mörtel abhängig ist von dem Wassergehalte desselben; er fand, daß die Kohlensäure vom Mörtel am schnellsten absorbirt wird, wenn derselbe noch etwa 1 Proc. ungebundenes Wasser enthält; auch nimmt er an, daß das Kalkhydrat keine gasförmige, sondern nur verdichtete (in Wasser gelöste) Kohlensäure aufnimmt. Hiernach seien daher die Vorgänge beim Erhärten des der Luft ausgesetzten Mörtels so aufzufassen: Zu Anfang findet nur Trocknung des Mörtels statt, welche alsbald so weit fortschreitet, daß die Kalktheilchen an einander haften, der Mörtel hat angezogen. In diesem Zustande beginnt die Aufnahme von Kohlensäure, welche bis dahin nur unbedeutend und oberflächlich war, lebhafter und eindringlicher zu werden und in gleichem Schritt mehrt sich die Festigkeit und Härte. Das letzte Stadium des Austrocknens ist zugleich dasjenige der eigentlichen Kohlensäuerung und steinigen Härte. Bei dieser steinigen Erhärtung wirkt die Kohlensäure lediglich in der Art, daß sie die noch getrennten, aber an einander adhärirenden und in unmittelbarer Berührung befindlichen Theilchen des Kalkhydrats zu einer einzigen zusammenhängenden Masse von Calciumcarbonat verschmilzt. Dazu tritt die starke Adhäsion des Calciumcarbonates an anderen Gesteinen, also auch an den Sandtheilen und Mauersteinen als ein weiteres bedingendes Moment hinzu.

Die Aufnahme von Kohlensäure an sich giebt dem Mörtel keinen Zusammenhang, wenn aber der Mörtel vorher einen gewissen Zusammenhang durch Anziehen (Abtrocknen) gewonnen hat, so verbindet sie die Kalktheilchen zu einer einzigen festen harten Masse von Calciumcarbonat, welche, an dem Sande und den Steinen innigst anhaftend, auch diese noch verkittet. Das Anziehen des Mörtels ist eine unerläßliche Vorbedingung der Erhärtung zu Stein; Zufuhr von Kohlensäure vor dem Anziehen (z. B. durch Anmachen des Mörtels mit einer Lösung von Ammoniumcarbonat) ist ein Hinderniß der Erhärtung, der Mörtel bleibt breiartig; es liegen dann bei nicht angezogenem Mörtel die Theilchen des Kalkhydrates zu weit aus einander, um durch den Uebergang in Calciumcarbonat eine zusammenhängende Masse zu geben. Sehr günstig wirkt der oft sehr bedeutende Druck der

aufliegenden Mauerschichten, wodurch die Mörteltheilchen beim Anziehen einander näher zu liegen kommen, welcher Umstand auf die Erhärtung fördernd einwirkt.

Beim Mörtel kommt noch hinzu, daß derselbe Kalkwasser enthält; beim Abtrocknen des Mörtels verdunstet das Wasser und es scheidet sich Kalkhydrat in sehr kleinen Krystallen aus; indem die Krystalle an Theilen des Mauerwerks fest anhaften, können dieselben auch etwas zur Verkittung beitragen.

Das Steinhartwerden des Luftmörtels ist demnach die Folge zunächst eines mechanischen Vorganges (Anziehen), wodurch die Kalktheilchen an einander, am Sande und an den Steinen haften; damit aber der Mörtel an den Steinen haften kann, müssen diese zuvor mit Wasser gehörig durchtränkt werden; dann eines chemischen Processes (eigentliche Erhärtung), Umwandlung des verdichteten, schon haftenden Kalkhydrates in festes, steinhartes Calciumcarbonat, wodurch die nahe an einander gerückten Theilchen zu einem Ganzen verkittet werden; letzterer Proceß vollzieht sich nur allmälig, bei sehr dicken Mauern vollständig erst im Laufe von Jahrhunderten, daher es auch vorkommt, daß der Mörtel im Innern eines alten dicken Mauerwerkes noch Kalkhydrat enthalten kann, wie dieses aus den Analysen Nr. 1, 2 und 3 umstehender Tabelle hervorgeht, in welchen die gefundene Menge Kohlensäure nicht ausreicht zur Sättigung des Kalkes. Dagegen findet man, daß bei den Analysen sehr alter Mörtel (Nr. 4 bis 10) der Kalk vollständig in Calciumcarbonat übergeführt war.

Durch die Analysen Nr. 4 bis 10 umstehender Tabelle, sowie auch durch die Untersuchungen von Wolters über das Verhalten des Luftmörtels zur Kohlensäure ist auch die Ansicht von v. Fuchs widerlegt, nach welcher die Ursache der Erhärtung die Bildung von halbkohlensaurem Kalk sein soll.

Es sei hier auch bemerkt, daß v. Fuchs beobachtet haben wollte, daß der Kalk beim unvollständigen Brennen und der gebrannte Kalk bei der Aufnahme von Kohlensäure eine basische Verbindung bilden und daß diese unvollkommen gesättigte oder unvollkommen entkohlensäuerte Verbindung sich mit Wasser nicht löscht, sondern mehr oder weniger hydraulische Eigenschaften besitzt. Die Existenz eines basischen Calciumcarbonates, welches die Fähigkeit besitze, unter Aufnahme von Wasser zu erhärten, wurde auch von Minard[1]) angenommen. Auf Grund dieser angeblich existirenden Verbindung und ihrer Hydraulicität wurden von Villeneuve 1850 in Frankreich und von Roché 1851 bei Petersburg Cementfabriken gegründet, in welchen man hauptsächlich auf die Bildung von basischem Calciumcarbonat durch unvollständiges Brennen der Kalksteine hinarbeitete. Die Existenz von basischem Carbonat und dessen hydraulische Eigenschaften wurden bestritten von Berthier, Rivot und Chatoney[2]), Schulatschenko[3]) u. A. Letzterer wies auch nach, daß in den Fabriken von Villeneuve und Roché die verwendeten Kalksteine Thon (7 bis 10, bezw. 10 bis 25 Proc.) enthielten, wodurch die Hydraulicität der gebrannten Steine sich erklärte.

---

[1]) Annal. de Chimie et de Physique 24, 104.

[2]) Considerations générales sur les matériaux employés dans les constructions à la mer p. 80.

[3]) Dingl. pol. J. 205, 335.

	H. Latzko[1])	Schrötter		A. Bauer[2])		W. Wallace[3])		A. Vogel[4])		Spiller[5])
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Kalk	6,96	23,52	17,40	18,26	10,60	26,40	45,70	13,27	22,02	14,42
Magnesia	2,20	8,50	9,92	5,06	4,60	0,97	1,00	0,86	1,33	0,04
Kohlensäure	2,30	16,24	10,30	18,94	14,05	20,23	37,00	11,31	19,59	11,37
Kieselerde, löslich	0,31	10,40	3,98	1,11	1,38	0,52	—	Spur	0,22	0,40
Thonerde	1,51	2,56	3,42	1,90	1,20	2,16	2,64	1,72	—	Spur
Eisenoxyd		1,56	4,25			0,99	0,92		1,90	
Wasser	2,23	4,48	5,49	3,31	2,90	0,54	0,36	2,34	3,05	0,92
Sand ꝛc.	85,00	32,50	45,30	51,42	64,20	47,68	12,06	70,50	51,89	72,50
	100,51	99,76	100,06	100,00	98,93	100,26	99,68	100,00	100,00	99,80
Kohlensäure auf Kalk und Magnesia berechnet	7,88	27,83	23,68	20,3	13,38	21,80	37,00	11,36	18,74	11,37

1. Vom alten Kärnthnerthore in Wien. 2. und 3. Bastei in Wien, bez. 662 und 303 Jahre alt. 4. Rothenthurmbastei in Wien, 50 Jahre alt. 5. Ruine Weißenstein nächst Preßburg, mehrere Jahrhunderte alt. 6. Ruine eines Tempels bei Larnaca auf Cypern. 7. Vom Pnyx, der Bühne, auf welcher Demosthenes und Perikles viele ihrer Reden gehalten haben. 8. Vom Karlsthor und 9. Vom Universitätsgebäude in München. 10. Altrömischer Mörtel in Burgh bei Yarmouth in England.

---

1) Chem. Centralbl. 1859, S. 818. 2) Dingl. pol. J. 150, 62 u. 152, 366. 3) Ebend. 177, 372. 4) Ebend. 147, 190. 5) Deutsche Ind.-Ztg. 1868, S. 897.

Die Untersuchungen alter Mörtel von Schrötter (s. Tabelle a. S. 76), haben auch ergeben, daß bei der Erhärtung sich ein Kalksilicat gebildet hatte; auch Petzholdt [1]) fand in einem Dresdener Mörtel, 100 Jahre alt, 2,1 und in einem anderen, der 300 Jahre alt war, 6,2 Proc. in Säuren lösliche Kieselsäure. Das Vorhandensein von löslicher Kieselsäure in alten Mörteln wird der Einwirkung des Kalkhydrats auf den Quarzsand zugeschrieben. Wenn auch feststeht, und Petzholdt hat dieses durch Versuche festgestellt, daß Kalkhydrat auf Quarzsand unter Mitwirkung von Wasser einwirkt, wobei sich in geringer Menge ein Kalksilicat bildet, so dürfte doch in den meisten Fällen, wo man aufgeschlossene Kieselsäure in alten Mörteln gefunden hat, diese von einem Thongehalt des zum Mörtel verwendeten gebrannten Kalkes herrühren und schon beim Brennen des Kalksteines gebildet worden sein, Winkler [2]). Auch ist es möglich, daß an den Berührungsstellen zwischen Mörtel, resp. Kalkhydrat, und Ziegelstein eine chemische Einwirkung (Kalksilicatbildung) stattfindet, denn es ist bekannt, daß jeder Luftmörtel zu einem Wassermörtel umgewandelt werden kann dadurch, daß man ihm leicht angreifbare Silicate, Puzzolane, Traß, Ziegelmehl 2c. hinzufügt. Daß dieser angegebene Vorgang auch auf die Erhärtung des Luftmörtels begünstigend einwirkt, geht daraus hervor, daß der Mörtel sich von der Oberfläche der gebrannten Steine bei alten Mauern nur schwierig entfernen läßt. Jedenfalls ist die Kalksilicatbildung bei Anwendung von Quarzsand, wenn sie stattfindet, nur von untergeordnetem Werthe, da erfahrungsgemäß Kalksand, anstatt des Quarzsandes zum Mörtel angewendet, eine ebenso steinharte Masse bildet.

In der Praxis wird oft gefordert, daß der Luftmörtel schon in kurzer Zeit eine große Festigkeit und Widerstandsfähigkeit erlangt; dieses wird dadurch erreicht, daß man dem Luftmörtel Cement beimischt. Den Einfluß von einer derartigen Beimischung werden wir bei der Anwendung des Cementes näher besprechen.

Auswitterungen. An der Außenfläche von Bauten, rohen oder verputzten, sieht man häufig Auswitterungen von Salzen in mehr oder minder reichlicher Menge auftreten; sie finden sich namentlich stark auf den Mörtelfugen und den diesen Fugen zunächst liegenden Steintheilen, und in der Regel stärker an Cementfugen als an solchen, die mit gewöhnlichem Luftmörtel gemauert sind. Man bezeichnet diese Auswitterungen im gewöhnlichen Leben, da mit deren Entstehen oft zugleich ein Abblättern der Steinoberfläche verbunden ist, mit dem Namen Mauerfraß oder Mauersalpeter, und glaubt, daß dieselben aus Nitraten bestehen.

Es ist nun allerdings möglich, daß unter Umständen, da wo die Bedingungen, Gegenwart von organischen stickstoffhaltigen Substanzen (Urin 2c.), Feuchtigkeit u. s. w. vorhanden sind, sich innerhalb des Mauerwerkes Nitrate bilden und auswittern können, aber die in neuester Zeit vorgenommenen Untersuchungen haben ergeben, daß diese Auswitterungen in den meisten Fällen keine Nitrate enthalten, sondern daß sie meistentheils aus Sulfaten, namentlich aus Natrium-

---

1) J. pr. Chem. 16, 96.
2) Dingl. pol. J. 154, 58.

sulfat (Glaubersalz) und aus Magnesium- und Calciumsulfat (Bittersalz und Gyps) bestehen.

Es entsteht nun die Frage, wie gelangen diese Salze in das Mauerwerk.

Natriumsulfat findet sich weder in den Bausteinen noch in dem Kalke; Gyps und Bittersalz sind manchmal Begleiter des Thons, aus dem die Ziegelsteine gebrannt werden; außerdem können sich diese Salze auch bilden beim Brennen der Steine mit schwefelhaltigen Brennmaterialien oder wenn der verwendete Thon Schwefelkies enthält.

Enthält nun der Kalk, wie dieses bei dem mageren thonhaltigen meistens der Fall ist, kohlensaure Alkalien, so setzen sich diese mit dem Gyps und Bittersalz unter Mitwirkung von Feuchtigkeit um, wie Feichtinger nachgewiesen hat. Derselbe untersuchte eine an einem Neubau in großer Menge auftretende Auswitterung, aus Natriumsulfat bestehend, sammt den zum Bau verwendeten Baumaterialien; er fand, daß der verwendete magere Kalk $^1/_2$ Proc. Natriumcarbonat und die Ziegelsteine, mit Braunkohlen gebrannt, beträchtliche Mengen von Gyps und Bittersalz enthielten; zu einem Theile des erwähnten Neubaues wurden auch Ziegelsteine, mit Holzfeuer gebrannt, verwendet; diese enthielten keine Spur von Bittersalz und Gyps und es war daher auch hier keine Auswitterung zu beobachten.

Der Gyps oder das Bittersalz können aber auch aus dem Mörtel selbst stammen. Aron[1]), welcher mehrere Auswitterungen an Gebäuden untersuchte, welche der Hauptmasse gleichfalls aus Glaubersalz bestanden, fand in einem mit Braunkohle gebrannten Kalke die äußerste Schicht des Kalkes fast völlig in Gyps verwandelt, während der Kern sich als frei von Schwefelsäure erwies.

Selbstverständlich können Gyps und Bittersalz, wenn sie bei Abwesenheit von Alkalisalzen in größerer Menge in den Baumaterialien vorkommen, auch für sich Auswitterungen veranlassen.

Auswitterungen von Natriumcarbonat können auch entstehen, wenn kochsalzhaltiges Wasser zum Anmachen von Mörtel verwendet würde, wobei neben Natriumcarbonat sich auch zerfließliches Chlorcalcium bilden kann, welch letzteres die Wände feucht hält. Vielfach können auch lösliche Salze des Bodens die Ursache von Auswitterungen sein, wenn diese Salze mit der Feuchtigkeit in das Mauerwerk aufsteigend, nachher beim Verdunsten derselben auskrystallisiren.

2. Wassermörtel; hydraulischer oder Cementmörtel.

Unter Cement wurden ursprünglich nur die Substanzen verstanden, welche, dem gewöhnlichen Kalkmörtel zugesetzt, damit einen in Wasser erhärtenden Mörtel geben, wie Puzzolanerde, Traß u. s. w. Später gebrauchte man die Bezeichnung Cement für jeden in Wasser erhärtenden (hydraulischen) Mörtel, welche noch mit besonderen Namen belegt wurden, die aber so verschieden waren,

---

[1]) Notizbl. f. Fabrik. von Ziegeln 2c. 1873, S. 98.

daß oft ein und dasselbe Material verschiedene Namen erhielt, wodurch Verwirrungen entstanden. Um diesem Uebelstande zu begegnen, hat man jetzt fast allgemein in der Praxis eine Bezeichnung angenommen, wonach sämmtliche hydraulische Mörtel in vier Classen eingetheilt werden und man unterscheidet danach:

1. Puzzolanen (hydraulische Zuschläge); diese geben für sich allein keinen Mörtel, liefern dagegen, gemahlen dem Fettkalk zugesetzt, ein hydraulisches Bindemittel, welches zwar langsam erhärtet, aber zuletzt doch sehr fest wird.

2. Hydraulische Kalke; sind solche Gesteine, welche nach dem Brennen in festen Stücken sich beim Befeuchten mit Wasser unter starker Wärmeentwickelung noch zu pulverförmigen Hydrat oder zu Kalkbrei ablöschen; dieselben werden in Stücken und in Pulverform auf den Markt gebracht und sind magere Kalke, die einige Zeit nach ihrer Verwendung in Wasser erhärten.

3. Romancement (Cementkalk, hydraulischer Cement); derselbe zerfällt nach dem Brennen beim Besprengen mit Wasser nicht, muß daher vor seiner Verwendung gemahlen werden, und das aus den gebrannten Steinen durch Mahlen künstlich erzeugte Pulver erhärtet mit Wasser angemengt in ganz kurzer Zeit.

4. Portlandcement; natürliche Thonmergel und Gemische von Thon und Kalk, welche so stark gebrannt sind, daß Sinterung eingetreten ist, und welchem ein specifisches Gewicht von über 3,0 zukommt.

a. Puzzolanen (hydraulische Zuschläge).

Hierunter versteht man die Stoffe, welche dem Kalke die Eigenschaft, im Wasser zu erhärten, verleihen; sie sind theils natürliche, theils künstliche Producte.

Zu den in der Natur vorkommenden Puzzolanen gehören:

Puzzolane, Puzzolanerde (Pulvis puteolus), nach dem Fundorte Puteoli, heutzutage Puzzuoli, nahe dem Vesuv; ist ein vulcanisches Tuffgestein von körniger, etwas poröser Structur, von welchem die Römer schon 200 Jahre vor unserer Zeitrechnung zu ihren Wasserbauten Anwendung gemacht haben; dieselbe war lange Zeit das einzige und ist noch jetzt ein sehr gutes Material zur Bereitung von Wassermörtel.

Puzzolanerde wird in der Nähe von Neapel in großer Menge gewonnen, namentlich die Gruben von Bacoli bei Puzzuoli liefern dieselbe in ausgezeichneter Qualität; auch Bassano bei Torre del Greco und Montenuovo produciren ein sehr gutes Material. In Neapel nennt man die besseren Sorten Pozzolane di fuoco zum Unterschiede von der Pozzolane dolci, welche sehr viele fremde erdige Bestandtheile enthalten und die, weil sie in geringer Tiefe unter der Oberfläche, sogar in der Stadt selbst, gewonnen werden, vielfach zu gewöhnlichen Bauten dienen. Die besseren Sorten besitzen eine dunkelbraune Farbe, minder gut ist die von gelber und von geringster Qualität die gelblichweiße Art. In der Gegend von Neapel werden auch die Lapilli, ebenfalls vulcanischen Ursprungs, zur Herstellung von Mörtel benutzt. Dieses Material besteht aus Fragmenten von Bimsstein und dichter vulcanischer Schlacke und giebt durch

Vermischung mit Kalk einen sehr haltbaren Mörtel, der zur Herstellung von Pflaster und zur Bedachung der Häuser dient.

Die Puzzolanerdelager von Bacoli, Montenuovo und vom Vesuv sind durch die Güte des Materials und die Höhe der Production die bedeutendsten; alle drei sind Tagebauten. In Bacoli werden jährlich ca. 10000 Tonnen gewonnen. Montenuovo bei Bajae producirte im Jahre 1880 3600 Tonnen.

Auch in der Nähe von Rom, im Albanergebirge und in den Bergen von Viterbo wird vielfach Puzzolanerde gewonnen; dieselbe ist meist von röthlich-violetter, seltener von schwarzer oder grauer Farbe. Man verwendet diese Puzzolanerde an Stelle von Sand zur Herstellung von Mörtel, der nicht dem Wasser ausgesetzt ist, da in der Nähe von Rom guter Sand nicht leicht zu beschaffen ist; die Erde kommt dort abwechselnd mit Tuff in regelmäßigen Schichten bis zu 18 m Mächtigkeit vor; fast alle Gruben, ca. 20, werden unterirdisch betrieben [1].

Der Puzzolanerde ähnliche vulcanische Producte finden sich auch in Frankreich in der Auvergne (montagne gravenaire) und, wie Vicat nachgewiesen hat, in den Departements de l'Hérault und de l'Ardèche.

Die Puzzolanerde verliert beim Erhitzen Wasser und läßt sich durch starke Salzsäure ziemlich vollständig zersetzen, wie die nachstehenden Analysen zeigen:

		1.	2.	3.	4.	5.
In Salzsäure löslich	Kieselsäure	10,24	10,25	19,5	21,0	28,2
	Thonerde	9,00	2,56	9,7	10,7	2,0
	Eisenoxyd	4,76	4,56	6,3	6,8	21,8
	Kalk	1,90	1,58	8,0	1,5	9,0
	Magnesia	—	—	0,9	1,1	—
	Kali	1,50 (Kali + Natron)	1,50	2,6 (Kali + Natron)	3,0	1,2
	Natron		1,47			
	Wasser	—	—	10,2	12,1	4,1
In Salzsäure unlöslich	Kieselerde	48,89	49,56	32,7	33,5	25,0
	Thonerde	12,27	13,79	8,1	8,2	6,7
	Eisenoxyd	—	—	—	—	—
	Kalk	—	—	1,2	1,3	1,3
	Kali	2,87	12,65 (Kali + Natron)	—	—	—
	Natron	6,23		—	—	—

1. Italienische Puzzolane (Elsner-Stengel) } auf den wasserfreien
2. " " (Elsner-Reinhardt) } Zustand berechnet.
3. " " (Rivot).
4. Puzzolane aus dem Departement de l'Hérault (Rivot).
5. " " der Auvergne (montagne gravenaire) (Rivot).

[1]) L. Demarchie u. O. Fodera, Thonind.-Ztg. 1883, Nr. 21.

Traß. Die Römer fanden in Deutschland bei Bonn am Rhein einen der Puzzolane ähnlichen Tuffstein; ob die Römer denselben zu Wasserbauten statt der Puzzolanerde benutzten, ist nicht bestimmt festgestellt. Als sicher kann angenommen werden, daß am Ende des 17. Jahrhunderts dieses Gestein bereits in größerer Menge zu hydraulischem Mörtel verwendet wurde. Ein Holländer, van Santen, soll im Jahre 1682 die erste Mühle erbaut und diesen Tuffstein zu Pulver vermahlen haben und von dieser Zeit datirt auch mit ziemlicher Sicherheit die Verwendung desselben zur Bereitung von Wassermörtel, zunächst in Holland und von da sich nach Frankreich, England und Deutschland verbreitend [1]). Im gemahlenen Zustande führt dieses Tuffgestein den Namen Traß, welches Wort aus dem holländischen Tyraß, Kitt oder Bindemittel bedeutend, entstanden sein soll. Der Tuffstein selbst wurde im Mittelalter am Rhein als Baustein sehr allgemein verwendet, wozu er sich wegen seiner Festigkeit, leichten Bearbeitung und Widerstandsfähigkeit ganz vorzüglich eignete; jetzt dient er nur noch im gemahlenen Zustande zu Wassermörtel.

Die Fundstätten des an den östlichen Abhängen der Eifel, besonders in der Gegend des Laacher Sees auftretenden Tuffsteins, am Rhein auch Duckstein genannt, eines Productes von erloschenen Vulcanen und nicht mit den sedimentären Kalktuffen zu verwechseln, sind im Nette- und Brohlthal, zwei linken Seitenthälern des Rheines, bei den Städten Neuwied und Andernach. Der Tuffstein wird hier ausschließlich durch Tagebau gewonnen und zwar in den von Andernach etwa zwei Stunden entfernten Dörfern im Nettethal: Plaidt, Kruft, Kretz, in Brohlthal bei Brohl bis nach Tönnisstein; auch bei dem westlich von Brohl gelegenen Dorfe Weibern, sowie bei dem zwei Stunden von Koblenz an der Mosel gelegenen Orte Winningen werden Tuffgesteine gemahlen.

Der Tuffstein besteht aus den staubförmigen Auswurfsmassen früherer Vulcane, welche durch Wasser und Druck in Verbindung mit der Länge der Lagerung in den unteren Schichten zu festem Gestein geworden sind. In Folge dessen lagert zu unterst der den frühesten Ausbrüchen entstammende feste Stein, darüber ein jüngerer, weniger fester, dann bedeutende Massen vulcanischer Asche, welche oben von Ackererde überdeckt ist. Die Mächtigkeit dieser Schichten schwankt und beträgt im Brohlthale 10 m und mehr.

Der getrocknete echte älteste Tuffstein hat etwa die Härte eines gut gebrannten Ziegels, zeigt scharfkantigen Bruch, ist porös, von gelblichgrauer, theilweise ins Bläuliche spielender Farbe. Gemahlen giebt er ein graues, sich scharf anfühlendes Pulver. Der jüngere, aus der zweiten Eruption stammende Tuffstein wird zu Brohl Knuppen, zu Andernach Tauch genannt, hat ungefähr die Härte der Kreide, bricht rundlich, ist nicht porös und mit Bimsstein und Thonschiefer gemengt. Die jüngste oberste Schichte ist vulcanische Asche und heißt wilder Traß. Derselbe ist ein lockeres, weißlichgraues Pulver, das viel geringere hydraulische Eigenschaften zeigt. Im Brohlthale lagern die Tuffsteine fast ausschließlich oberhalb des Bachniveaus an den Bergabhängen, während die Lager in südlicher Richtung 6 bis 9 m unter der Oberfläche ruhen.

---

[1]) Die hydraulischen Mörtel, insbesondere der Portlandcement ꝛc. Von Dr. Michaëlis, S. 13.

Der Tuffstein kommt theils in Stücken, im Gewichte von ca. 10 kg, theils im gemahlenen Zustande als Traß in den Handel. Daß der Traß meistens in Stücken bezogen wird, geschieht hauptsächlich der größeren Sicherheit vor Fälschung wegen. Man unterscheidet im Handel nach der Farbe: gelbe, graue und blaue Tuffsteine; der blaue ist der beste.

Nach Michaëlis beträgt die gegenwärtige Production im Nettethal ca. 70000 Tonnen, wovon 55000 Tonnen ungemahlen als Tuffstein in den Handel kommen, während die übrigen 15000 Tonnen mit dem gleichen Quantum Tuffsteinabfall (beim Brechen, sogenannte Schrotteln, Gekrötz) zu Traß vermahlen werden, von welchem im Nettethale mithin 30000 Tonnen vermahlen werden [1]). Der Traß wird vielfach angewandt am Rhein, in Holland und Belgien namentlich zu Hafen-, Schleusenbauten 2c.; der Traßmörtel soll vom Seewasser nicht angegriffen werden.

Traß verliert, wie die Puzzolanerde, beim Erhitzen Wasser und ist auch in concentrirter Salzsäure zum größten Theile löslich, wie aus nachstehenden Analysen ersichtlich ist.

		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
In Salzsäure löslich	Kieselsäure	11,50	5,15	29,5	31,0	14,5	10,6	8,2
	Thonerde	17,70	16,02	5,1	10,5	8,3	6,1	5,2
	Eisenoxyd	11,77	3,33 [2])	3,9	6,1	4,8	3,6	4,3
	Kalk	3,15	1,25	6,5	3,0	3,5	3,6	2,2
	Magnesia	2,14	0,81	7,1	0,7	0,9	0,9	0,9
	Kali	0,29	3,52	6,4	10,0	1,8	1,2	1,3
	Natron	2,43	2,17			0,6	1,5	1,5
	Wasser	7,65	12,65	12,6	7,7	2,8	5,5	6,1
In Salzsäure unlöslich	Kieselsäure	37,43	47,93	28,0	23,0	42,3	48,7	44,0
	Thonerde	1,25	2,26	5,0	6,0	8,3	6,1	10,0
	Eisenoxyd	0,57	0,48	—	—	4,6	4,9	7,1
	Kalk	2,25	—	1,2	1,0	4,8	2,6	4,5
	Magnesia	0,27	0,50	—	—	1,3	1,0	1,6
	Kali	0,07	0,65	—	—	0,3	2,3	2,8
	Natron	1,11	1,27	—	—	0,5	1,8	1,1

1. Traß, eine geringere gelbgraue Sorte (Elsner) [3]).
2. " blauer, bester, aus der untersten Lage der Herfeldt'schen Grube im Brohlthale (Bohl) [4]).
3. " (aus Holland) } (Rivot).
4. " " "
5. Gelber Tuffstein aus den Herfeldt'schen Gruben }
6. Grauer " " " " " } (Kyll).
7. Blauer " " " " " }

[1]) Löhmann, Der rheinische Traß 2c., Deutsche Bauzeitung 1878, Nr. 54. — [2]) Eisenoxydul. — [3]) Dingl. pol. J. 93, 441. — [4]) Dingl. pol. J. 173, 201.

Bohl fand im Traß auch 0,62 Proc. durch Wasser ausziehbare Bestandtheile, bestehend aus den Chloriden des Natriums, Kaliums und Magnesiums.

Im Ries bei Nördlingen in Bayern kommt ebenfalls ein Tuffstein, Traß, vor, der sowohl als Quader zu Bauten, wie auch im gemahlenen Zustande mit Kalkmörtel gemengt zu Wassermörtel verwendet wird. Derselbe ist verschieden von dem rheinischen Traß, der Puzzolanerde und den vulcanischen Tuffen überhaupt. Der Traß vom Ries gelatinirt mit Salzsäure nicht und löst sich in Salzsäure auch nur wenig; derselbe hat in den verschiedenen Lagern eine sehr verschiedene Zusammensetzung, ist ein Gemenge und hat daher, je nachdem der eine oder andere Gemengtheil vorherrscht oder mehr oder weniger verwittert ist, eine verschiedene Farbe, gelblichweiß, graulich, bräunlich u. s. w. und eine sehr verschiedene Zusammensetzung [1]).

Feichtinger [2]) fand für den Traß vom Ries von zwei Fundorten: 1. von Mauern, 2. von Christgarten folgende Zusammensetzung:

		1.	2.
Kieselerde in verdünnter Kalilauge löslich		2,18	2,57
In Salzsäure löslich	Kalkerde	2,98	2,16
	Bittererde	1,20	1,32
	Thonerde	5,95	5,48
	Eisenoxyd mit Spur Manganoxyd	4,66	3,55
	Kieselerde	0,12	0,18
Kieselerde, nach der Zersetzung mit Salzsäure, in verdünnter Kalilauge löslich		13,22	6,13
In Salzsäure unlöslich	Kieselerde	49,54	59,85
	Thonerde	7,46	8,45
	Eisenoxyd	1,10	2,95
	Kalk	1,71	1,78
	Bittererde	0,88	0,95
	Kali	2,91	1,82
	Natron	0,35	0,34
Wasser		5,66	2,59

Santorin, Santorinerde; ist ein von den griechischen Inseln Santorin (auch St. Erini, der Schutzpatronin des Eilandes, der heiligen Irene), Therasia und Aspronisi stammendes natürliches Cement, ist ebenfalls ein vulcanisches

[1]) Analysen von Traß aus dem Ries von C. Röthe. Jahrb. d. Mineralogie 1863, S. 177.

[2]) Polyt. Centralbl. 1872, S. 1097.

Tuffgestein und unterscheidet sich von dem Traß am Rhein und der Puzzolanerde äußerlich fast gar nicht, nur daß sie im Allgemeinen zerreiblicher und minder dicht und fest ist; dagegen unterscheidet sie sich vom Traß und der Puzzolane durch ihren bedeutenden Gehalt an freier amorpher Kieselerde; die Santorinerde gelatinirt nicht mit Säuren und wird von Säuren auch weniger leicht zersetzt.

Feichtinger[1]) fand für die Santorinerde folgende Zusammensetzung:

In Wasser löslich	Gyps	0,05
	Chlornatrium	Spur
In Salzsäure löslich	Thonerde	1,36
	Eisenoxyd	1,41
	Kalk	0,40
	Magnesia	0,23
	Kieselsäure	Spur
In Salzsäure unlöslich	Kieselsäure	66,37
	Thonerde	12,36
	Eisenoxyd	2,90
	Kalk	2,58
	Magnesia	1,06
	Kali	2,83
	Natron	4,22
	Wasser	4,06

Das Ansehen der Santorinerde zeigt deutlich, daß dieselbe ein Gemenge von verschiedenen zersetzten Kieselfossilien ist. E. J. Heider[2]) und G. Feichtinger fanden, daß man die Santorinerde durch Schlämmen in drei verschiedene Massen trennen kann: 1. $1/5$ der Santorinerde ist Bimsstein, der leichter als Wasser ist und auf der Oberfläche schwimmt; 2. $3/5$, d. i. der größere Theil, ist ein feines, lichtgraues Pulver, welches sich durch Schlämmen abscheiden läßt von 3. $1/5$ eines scharfkantigen, größtentheils schwarzen, mitunter auch roth, gelb und anders gefärbten Sand, der Hauptsache nach aus Obsidian in seinen verschiedenen Formen bestehend.

Diese drei durch Schlämmen aus der Santorinerde abscheidbaren Massen sind nicht bloß nach ihrem Ansehen und Verhalten zu Kalkmörtel verschieden, sondern sie sind auch von verschiedener Zusammensetzung und enthalten auch verschiedene Mengen von amorpher in Kalilauge löslicher Kieselerde.

Feichtinger fand für diese drei Massen (gepulvert und bei 100° getrocknet) nachstehende Zusammensetzung:

---

[1]) Dingl. pol. J. 197, 146.

[2]) Heyder, Der Bau des vereinigten Slip- und Trockendocks im neuen Arsenale des österr. Lloyd in Triest.

		I. Bimsstein	II. Feinere Theile	III. Gröbere Stücke
In Salzsäure löslich	Kalkerde	0,40	0,84	0,68
	Magnesia	0,25	0,48	0,35
	Eisenoxyd	0,28	0,54	1,86
	Thonerde	0,75	1,31	1,64
	Kieselerde	Spur = 1,68	Spur = 3,17	Spur = 4,53
In Salzsäure unlöslich	Kieselerde	72,84	71,44	63,07
	Kalkerde	2,15	1,80	3,15
	Magnesia	1,33	1,36	1,58
	Thonerde	11,51	8,56	14,03
	Eisenoxyd	4,07	3,30	6,87
	Kali	1,28	1,86	1,87
	Natron	2,65 = 95,83	3,74 = 92,06	3,86 = 94,43
	Wasser	2,25 = 2,25	4,61 = 4,61	1,14 = 1,14
		99,76	99,84	100,10
Kieselsäure in verdünnter Kalilauge löslich		5,2	28,4	3,4

Die Santorinerde ist demnach ein Gemenge von Cement und Sand; der Cement ist der abschlämmbare feine Theil und der Sand sind die auf dem Wasser schwimmenden Bimssteinstücke und die gröberen schwereren Obsidianstücke. Nur dem feinen Pulver, d. h. der darin in großer Menge vorkommenden amorphen wasserhaltigen Kieselerde verdankt die Santorinerde ihre Wirkung als Cement. Zum Beweise, daß die amorphe Kieselsäure die Hydraulicität der Santorinerde herbeiführt, wurde mit Kalilauge ausgezogenes Material mit Kalkhydrat angerührt, welches Gemisch nach Jahren keine Festigkeit gewann, während Santorinerde mit Kalkhydrat gemischt schon nach einigen Tagen, unter Wasser gesetzt, nicht zerfiel und nach einigen Monaten die Härte von Portlandcement gewann. Die Santorinerde giebt mit Kalkmörtel einen vorzüglichen hydraulischen Mörtel, wird hierzu schon seit langer Zeit in den am Mittelländischen Meere gelegenen Ländern zu Wasserbauten benutzt und fand noch in der neuesten Zeit in beträchtlicher Menge mit dem besten Erfolge Anwendung bei den großen Hafenbauten in Triest, Venedig und Fiume. Der Santorinmörtel behält seine Härte nur, wenn er beständig unter Wasser bleibt.

Diese drei vulcanischen Tuffgesteine, Puzzolanerde, Traß und Santorinerde, sind, wenn auch als Conglomeratbildungen von sehr wechselnder Zusammensetzung, ihrer Entstehung als auch ihrer Natur nach höchst ähnliche Gebilde, sie gehören offenbar der Trachytformation an. Wie oben angegeben, sind Puzzolanerde und Traß zum größten Theile durch Säuren zersetzbar, die Santorinerde enthält eine bedeutende Menge freier amorpher Kieselerde und alle drei enthalten chemisch

gebundenes Wasser; hieraus geht hervor, daß dieselben schon einen Zersetzungsproceß durch Einwirkung hoher Temperatur unter gleichzeitiger Mitwirkung von Wasserdampf (nach v. Pettenkofer auch durch Einwirkung von salzsauren Dämpfen) durchgemacht haben. Auf dieser leichten Zersetzbarkeit durch Säuren, resp. dem Gehalte an aufgeschlossener Kieselsäure beruht, wie wir später sehen werden, im Wesentlichen das Erhärten des mit diesen Zuschlägen angerührten Kalkmörtels, indem sich hierbei auf nassem Wege, also auch unter Wasser, eine Verbindung von Kalk und Kieselsäure vollzieht.

Bemerkenswerth ist, daß diese drei natürlichen Cemente, wenn man sie vorher erhitzt zur Austreibung des Wassers, nachher mit Kalkhydrat gemengt unter Wasser nicht mehr oder nur wenig erhärten.

Eine so große Anwendung diese natürlichen Cemente früher im Wasserbau hatten, so ist dieselbe jetzt durch die zunehmende Ausbeutung natürlicher Gesteine zu hydraulischen Kalken einigermaßen zurückgedrängt; doch sind sie immerhin noch für günstig gelegene Oertlichkeiten (Fundorte und deren Umgebung) von Bedeutung geblieben.

Außer Puzzolanerde, Traß und Santorinerde können noch als Puzzolanen (Zuschläge zu gewöhnlichem Kalkmörtel) wegen ihres Gehaltes an löslicher Kieselerde fast alle vulcanischen Gesteine (Lava, Basalttuff ꝛc.) oder andere nicht vulcanische natürliche Producte, wie Opal, Chalcedon, Feuerstein u. s. w. angewendet werden.

Einen hydraulischen Mörtel, sogenannten Neutraß, stellt C. Heintzel in Lüneburg aus Infusorienerde und gebranntem Kalk her (D. R.-P. Nr. 4416 vom 30. Juli 1878 [1]). Das Verfahren zur Herstellung dieses Mörtels ist: Gebrannter Kalk wird durch Eintauchen in Wasser und Zerfallenlassen in staubfreies trockenes Kalkhydrat verwandelt und dann mit Infusorienerde gemischt, die durch Schlämmen, Trocknen, schwaches Glühen und Zerreiben der etwa sich bildenden größeren Brocken ebenfalls in staubfreies Pulver umgewandelt wird. Die Mischung der beiden Pulver geschieht im Verhältniß von gleichen Gewichtstheilen für Mörtelarbeiten, welche im Wasser liegen sollen, während für solche Arbeiten, welche dem Wasser weniger Widerstand zu leisten haben, die Mischung von einem Gewichtstheil Infusorienerde und zwei Gewichtstheilen Kalkhydratpulver genügt. Vergleichende Versuche über die Widerstandsfähigkeit des Neutrasses dem gewöhnlichen Traß-Kalkmörtel gegenüber ergaben folgende Resultate: Ein Gewichtstheil Infusorienerde, ein Gewichtstheil Kalkhydrat und sechs Gewichtstheile Sand mit Wasser zu Mörtel angerührt, zeigten nach siebentägiger Erhärtung an der Luft und 21 Tage im Wasser eine absolute Festigkeit von 2,7 kg pro Quadratcentimeter, während ein Gewichtstheil Traß, ein Gewichtstheil Kalkhydrat und sechs Gewichtstheile Sand unter denselben Verhältnissen eine Festigkeit von 1,3 kg pro Quadratcentimeter zeigten.

Zu den künstlichen Puzzolanen gehören: Wasserglas, Hohofen- und Rohkupferschlacken, gebrannter Thon, Ziegelmehl, gebrannter Alaunschiefer, Asche von Braun- und Steinkohlen u. s. w. Alle

[1]) Dingl. pol. J. 233, 262.

diese Materialien, welche die Kieselsäure in löslicher verbindungsfähiger Form oder mit wenig Basen zu sauren Silicaten verbunden enthalten, erhärten, mit Kalk vermischt, mehr oder weniger gut unter Wasser und bilden damit Wassermörtel; dieselben sind aber von sehr wechselnder Zusammensetzung und daher ist der Erfolg oft ein sehr schlechter, weßwegen ihre Verwendung in der Praxis von keiner großen Bedeutung ist.

Die Hohofenschlacken sind in neuester Zeit wiederholt zur Darstellung eines Wassermörtels [1]) und, wie wir später sehen werden, auch als Beimischung zum Portlandcement empfohlen und angewendet worden. Es eignen sich aber nicht alle Hohofenschlacken für Wassermörtel, sondern nur solche, welche ihrer Zusammensetzung nach den natürlichen Puzzolanen nahe stehen. Die Erfahrungen, die man bisher gemacht hat, haben ergeben, daß Hohofenschlacken bei etwa 50 bis 60 Proc. Kieselerde und 15 bis 20 Proc. Thonerde den besten natürlichen Puzzolanen nicht nachstehen, obwohl auch Schlacken mit 40 Proc. Kieselerde und 15 Proc. Thonerde noch als Zuschläge zu Kalkmörtel in Anwendung kommen können. Wir geben im Nachstehenden die Analysen von Hohofenschlacken, die als geeignet zu Wassermörtel gefunden wurden.

Analytiker	Elsner		Berthier		Bodemann	Drouat
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Kieselsäure	40,12	40,44	50,00	55,20	59,42	49,00
Thonerde	15,37	15,38	18,60	19,20	14,94	21,80
Kalk	36,02	33,10	26,40	19,20	19,79	24,00
Magnesia	—	—	2,00	1,40	0,11	Spuren
Manganoxydul	5,80	4,40	—	1,40	Spuren	0,60
Eisenoxydul	1,25	1,63	2,40	3,40	6,03	2,10
Kali	2,25	2,07	—	—	—	—
Schwefel	0,70	0,76	—	—	—	—
	101,51	97,78	99,40	99,80	100,29	97,50

I. und II. stammte von der Gleiwitzer Hütte in Oberschlesien; III. aus dem französischen Dordogne-Departement; IV. von dem Hüttenwerke la Charbonnière bei Nevers in Frankreich; V. von der Steinrenner Hütte am Oberharz und VI. von Bley im oberen Saône-Departement.

Sämmtliche Schlacken gelatinirten mit Salzsäure.

Der mit Schlacken und Kalk erzeugte Wassermörtel bindet langsam ab, erhärtet aber unter Wasser sehr stark. J. Huck [2]) hat neuerdings darauf hingewiesen, daß die hydraulische Wirkung der Schlacken sich bedeutend erhöhen lasse,

---

[1]) Ott, Dingl. pol. J. 208, 57.

[2]) Polyt. Centralbl. 1870, S. 778.

wenn man die Schlacke zuvor mit zwei Theilen (mit der Hälfte Wasser) verdünnter Salzsäure aufschließt, die Gallerte auswäscht bis zur Entfernung der Chlormetalle, trocknet und pulvert; man verwandelt also dadurch einen Theil der Schlacke in lösliche Kieselsäure, welcher Weg weder bequem noch billig ist, und außerdem erlangt der damit erzeugte Mörtel wegen der lockeren Beschaffenheit der durch Salzsäure abgeschiedenen Kieselsäure keine große Festigkeit.

Beim gewöhnlichen Kalke ist bereits darauf hingewiesen worden, daß ein Kalkstein bei einem gewissen Gehalt an Thon und Kieselerde sich mager verhalte, d. h. sich langsam und mit geringer Wärmeentwickelung zu einem körnigen Pulver lösche und daß, wenn die Menge dieser Bestandtheile noch höher steigt, der daraus gebrannte Kalk sich mit Wasser gar nicht mehr löschen läßt; man bezeichnet ihn dann als todtgebrannt. Dieser Thon- und Kieselerdegehalt ist es, welcher das abweichende Verhalten bedingt. Werden solche Kalksteine nach dem Brennen aber vorher in ein feines Pulver verwandelt und dieses mit einer solchen Menge Wasser angerührt, daß ein dicker Brei gebildet wird, so erhärten sie mehr oder minder rasch und erlangen in kürzerer oder längerer Zeit eine größere oder geringere Festigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Wasser; solche Kalksteine nennt man im gebrannten und gepulverten Zustande im Allgemeinen hydraulische Kalke. Sowie aus den in der Natur vorkommenden hydraulischen Kalksteinen wird auch durch Brennen von Gemischen aus Thon und Kalk hydraulischer Kalk künstlich bereitet. Man unterscheidet daher zwischen natürlichen und künstlichen hydraulischen Kalken.

b. Natürliche hydraulische Kalke.

(Hydraulischer Kalk im engeren Sinne und Romancement.)

Bis zu Ende des vorigen Jahrhunderts bediente man sich auch in England nur des Trasses und der Puzzolanerde; ihr seltenes Vorkommen und die Kostspieligkeit des Transportes gab Veranlassung, daß man ihre Stelle durch ein wohlfeileres in der Nähe befindliches Material zu ersetzen suchte. Es wurden vielfach Versuche in dieser Richtung angestellt, die lange ohne Resultate blieben.

Die ersten praktischen und wissenschaftlichen Untersuchungen verdanken wir dem englischen Ingenieur John Smeaton, veranlaßt durch den projectirten Bau des berühmten Edystone-Leuchtthurmes auf einem Felsen am Eingange in die Bucht von Plymouth [1]). Es waren bereits zwei Leuchtthürme, einmal von der stürmenden See und das zweite Mal durch eine Feuersbrunst zerstört worden. Smeaton, dem die Aufgabe zufiel, denselben aufs Neue aufzubauen, mußte daher, um seinem Bauwerke eine solche Festigkeit und Widerstandsfähigkeit zu geben, daß die Gewalt der Wogen demselben nichts anhaben konnten, sein Augenmerk vor Allem auf die Natur und Beschaffenheit des zum Bau zu verwendenden Mörtels richten.

---

[1]) Schafhäutl, Dingl. pol. J. 122, 186.

Von einer Theorie des hydraulischen Mörtels war zu Smeaton's Zeiten nichts Brauchbares bekannt, und auch die Praxis hatte so schwankende und sich zum Theil widersprechende Ueberlieferungen, daß Smeaton genöthigt war, bei seinen Untersuchungen von vornherein zu beginnen. Er fand, daß der reinste Kalk unter Wasser nicht erhärte, sondern zerfalle, und also für Wasserbauten nicht zu brauchen war. Er hörte nun von Maurern, daß in der Gegend von Aberthaw (South Wales) ein bläulichgrauer Kalkstein gebrochen werde, der gebrannt stärker erhärte als gewöhnlicher Kalk und den Einwirkungen des Wassers besser widerstände als jeder andere. Smeaton fand die Aussage bestätigt. Die Untersuchung des Steines zeigte ihm, daß beim Auflösen in Säuren eine ziemliche Quantität einer unlöslichen Masse zurückblieb, die er ihrem Verhalten nach für Thon und Sand erklärte. Bei weiteren Untersuchungen fand Smeaton hierauf, daß alle Kalke, welche thonigen Rückstand nach der Behandlung mit Säuren hinterlassen, gebrannt unter Wasser erhärten, während alle Kalksteine, welche nach der Auflösung in Säuren keinen Rückstand ergeben, zum Wassermörtel untauglich seien.

Dieses war die erste wissenschaftlich errungene Thatsache und sie war den Irrthümern von 2000 Jahren gegenüber von unendlichem Werth.

Gestützt auf die Untersuchungen von Smeaton fand man auch Ende des 18. Jahrhunderts in England und Frankreich Kalksteine, welche an und für sich nach dem Brennen einen ganz vortrefflichen Wassermörtel lieferten. In England wurde dem James Parker am 28. Juni 1796 ein Patent auf einen neuen Wassermörtel ertheilt; er stellte denselben dar durch Brennen der Kalknieren, die sich in der über der Kreide liegenden Thonschicht, London clay (weil London darauf steht), an den Ufern der Themse finden. Dieser hydraulische Kalk, von Farbe hellbraun, etwas ins Gelbliche sich ziehend, verdrängte auch in England bald die Puzzolane und den Traß beinahe vollständig; er erhielt die Namen Romancement, englischer oder römischer Cement, roman cement, ciment romain, um damit anzudeuten, daß derselbe ebenso vortrefflich als Wassermörtel sei, wie der Puzzolanmörtel der alten Römer. Der Romancement ist der älteste natürliche hydraulische Kalk, der im Großen verwendet wurde und der in England bis zur Stunde noch bereitet wird; er zeichnet sich durch rasches Erhärten und nach dem Erhärten durch große Festigkeit sowie Beständigkeit gegen das Wasser aus.

Die Kalknieren, die zur Bereitung des Romancementes dienen, sind Concretionen, die neben Calciumcarbonat 23 bis 26 Proc. Thon enthalten und welche die Mineralogen ehemals Septarien oder Ludus Helmonti genannt haben; sie sind fest, hart, feinkörnig, graubraun von Farbe und nicht immer von gleicher Beschaffenheit; dieselben finden sich in England auch am Canal, namentlich an der südwestlichen Ecke von England, auf der Insel Sheppey in Gestalt von losgespülten Rollstücken (Sheppey pebbles), zu Whitby in Yorkshire. Die Septarien von Whitby liefern den Atkinson's Cement, so genannt, weil dieser Ingenieur denselben zuerst in London eingeführt hat, welcher Cement auch den Namen Mulgrave-Cement, nach dem Grafen v. Mulgrave, führt.

Septarien finden sich auch England gegenüber an der französischen Küste bei Boulogne sur mer (galets bezeichnet) worauf Lesage zuerst aufmerksam machte und sie werden dort seit 1802 ebenfalls zur Bereitung von hydraulischem Kalk verwendet.

Aehnliche Kalksteinnieren finden sich auch in Deutschland, so z. B. bei Altdorf bei Nürnberg, bei Culmbach in Oberfranken, im Thone bei Arkona auf Rügen. Diese Kalksteinnieren bestehen nach Analysen von

I. Schafhäutl, II. H. Mayer, aus:

		I.	II.
In Salzsäure löslich	Kohlensaurer Kalk	67,12	66,99
	Kohlensaure Magnesia	1,33	1,67
	Kohlensaures Eisenoxydul	5,50	6,95
	„ Manganoxydul	1,55	—
	Thonerde	0,41 = 75,91	0,39 = 76,00
In Salzsäure unlöslich	Kieselsäure	16,51	16,89
	Thonerde	4,20	4,32
	Eisenoxyd	1,03	1,72
	Manganoxyd	0,61	—
	Magnesia	0,41	0,37
	Kalk	—	Spur
	Kali mit Spuren von Natron	0,88 = 23,64	— = 23,30

Bei der sehr allgemeinen Verbreitung thoniger Kalksteine konnte es nicht ausbleiben, daß, nachdem einmal die Aufmerksamkeit auf dieselbe gelenkt war, allenthalben Material für vortreffliche Wassermörtel aufgefunden wurde, obwohl es bis zum Jahre 1830 an einer richtigen Einsicht in die wesentlichen Bedingungen zur Erzeugung eines guten hydraulischen Kalkes fehlte; alles Wissen stützte sich nur auf empirische Versuche. Erst durch die bahnbrechende Arbeit von v. Fuchs 1830 gewann man eine richtige Anschauung über die Materialien, die zur Herstellung von hydraulischen Mörteln verwendet werden können. Von da an datirt auch der große Aufschwung, den die Fabrikation und die Anwendung von hydraulischem Kalk angenommen hat. v. Fuchs[1]) hat auch auf die Verwendung von Mergeln (thonhaltigen Kalksteinen), welche sich namentlich in oft unerschöpflichen Massen im bayerischen Hochgebirge, in Tyrol ꝛc. vorfinden, hingewiesen, welche jetzt auch im großen Maßstabe zur Bereitung von hydraulischem Kalk verwendet werden.

Die Mergel sind Gemenge von Calciumcarbonat mit Kieselsäure oder verschiedenen Silicaten, wesentlich Thonerdesilicaten; sie enthalten aber meistens noch

[1]) v. Fuchs, Erdmann's Journal für technische u. ökonomische Chemie. 6, 1 bis 26 u. 132 bis 162.

Magnesiumcarbonat, Ferrocarbonat, Eisenoxyd, Manganoxyd, Glimmerschuppen u. s. w. Die Mergel enthalten daher in Säuren lösliche und darin unlösliche Bestandtheile; den in Salz- oder Salpetersäure unlöslich bleibenden Theil bezeichnet man mit dem Namen Thon, obwohl er sehr häufig vorwaltend nur aus Kieselerde besteht. Die chemische Zusammensetzung der Mergel ist an verschiedenen Oertlichkeiten und noch innerhalb eines und desselben Flötzes sehr abwechselnd; bisweilen schließt er Gyps, Quarz, Schwefelkies ꝛc., manchmal auch Versteinerungen ein.

Ob und in welchem Grade ein Mergel durch Brennen einen hydraulischen Kalk zu geben vermag, hängt zwar von verschiedenen Umständen ab, aber gewisse Mischungsverhältnisse zwischen Calciumcarbonat und sogenanntem Thon sind in allen Fällen maßgebend. Die Erfahrung hat gezeigt, daß diejenigen Mergel, welche zwischen 20 und 25 Proc. Thon enthalten, durchschnittlich die besten hydraulischen Kalke liefern, obwohl auch Mergel mit weniger als 20 Proc. und mehr als 25 Proc. noch sehr gut verwendbar sind.

Außer der Menge des sogenannten Thons ist noch dessen Zusammensetzung und der Grad des Brennens von wesentlichem Einflusse auf die Güte eines hydraulischen Kalkes.

Was den Thon anlangt, so wird, wie schon erwähnt, unter dieser Bezeichnung bei Mergeln nicht eine chemische Verbindung von constanter Zusammensetzung verstanden, sondern alles das, was Salzsäure ungelöst zurückläßt. Dieser Rückstand ist manchmal fast nur Kieselsäure, obschon in der Regel thonerdehaltige Silicate den Hauptbestandtheil ausmachen. Die Erfahrung hat gelehrt, daß Mergel mit Thonen, welche vorwaltend freie Kieselsäure enthalten, nur mittelmäßige hydraulische Producte geben. Die Thone der besten hydraulischen Kalke enthalten hauptsächlich Verbindungen von Kieselerde mit Thonerde, Eisenoxyd, Eisenoxydul, Kali und Natron.

Wenn der Thon vorwiegend aus Kieselsäure besteht, so ist es nicht gleich, ob dieselbe als Staubsand oder als gröberer Sand vorkommt. Tritt die Kieselsäure als grober Sand in größerer Menge auf, so läßt sich der Mergel sehr schwer gleichmäßig brennen. Die Gründe hierfür sind einleuchtend; die Einwirkung des Kalkes beim Brennen auf die feinen Silicattheilchen und die als Streusand vorhandene Kieselerde geht viel leichter vor sich, als auf die groben Quarzkörner und es ist nur möglich, durch sehr lange fortgesetztes Brennen diese Quarzkörner aufzuschließen; wie weit die Aufschließung erfolgt, hängt von der Größe der Quarzkörner und von der Dauer und Intensität des Feuers ab, welche Umstände sich aber nicht genügend beherrschen lassen, um ein gleichförmiges Product zu erzielen.

Es wird demnach ein Mergel einen um so besseren hydraulischen Kalk geben, je mehr dessen Thon, richtiges Verhältniß vorausgesetzt, aus Silicaten besteht und je weniger grober Sand sich in demselben eingelagert findet.

Von großem Einfluß auf die zu erlangende Härte und Widerstandsfähigkeit des hydraulischen Mörtels ist aber auch die physikalische Beschaffenheit der hydraulischen Kalksteine (Mergel); je dichter und fester das Material von Natur

aus ist, desto dichter und fester wird es auch nach dem Brennen und Erhärten im Wasser ausfallen.

Da zur Beurtheilung, ob ein Mergel zu hydraulischem Mörtel tauglich sei, immerhin das sicherste Kennzeichen seine chemische Zusammensetzung ist, so geben wir im Nachstehenden an, welcher Gang für die chemische Analyse einzuschlagen ist.[1]) Von dem zu untersuchenden Mergel etc. wird ein größeres Stück gepulvert, das Pulver, um eine gute Durchschnittsprobe zu erhalten, gemengt und bei 100° C. getrocknet. Etwa 2 g des Pulvers werden dann mit überschüssiger verdünnter Salzsäure und etwas Salpetersäure im bedeckten Becherglase übergossen und das Ganze dann in einer Porcellanschale im Wasserbade zur staubigen Trockne abgedampft, schließlich einige Zeit auf 150° C. erhitzt; die trockene Masse wird nach dem Erkalten mit etwas Salzsäure angefeuchtet, mit Wasser erwärmt und der unlösliche Rückstand auf einem Filter gesammelt und so lange mit heißem Wasser ausgewaschen, bis im Filtrate mit Silbernitrat keine Reaction mehr hervorgebracht wird. Der Rückstand wird alsdann vom Filter entfernt und mit ätzendem oder mit kohlensaurem Alkali (frei von Kieselsäure) in erneuten Portionen so lange ausgekocht, bis die abfiltrirte Lösung, mit Chlorammonium versetzt und einige Zeit gekocht, keine Trübung mehr von sich ausscheidender Kieselsäure zeigt.

Der gut mit heißem Wasser auf einem Filter ausgewaschene Rückstand wird dann getrocknet, geglüht und gewogen und für sich dann weiter, wie unten angegeben wird, untersucht.

Die alkalische Lösung wird mit Salzsäure sauer gemacht (bei Anwendung von kohlensaurem Alkali muß hierbei das Gefäß mit einer Glasplatte bedeckt werden) und zur Abscheidung der Kieselsäure zur staubigen Trockne, schließlich bei 150° C., abgedampft. Nach dem Befeuchten mit etwas Salzsäure und Wasser wird filtrirt und ausgewaschen; nach dem Trocknen, Glühen und Wägen des auf dem Filter Zurückgebliebenen erhält man die Menge der im Mergel in löslicher Form enthalten gewesenen Kieselsäure.

Die oben erhaltene salzsaure Flüssigkeit, welche alle in Salzsäure lösliche Bestandtheile, Thonerde, Eisenoxyd, Manganoxydul, Kalk, Magnesia und Alkalien enthält, wird zu einem Liter aufgefüllt und davon ein abgemessener Theil zur Bestimmung von Thonerde, Eisenoxyd, Manganoxydul, Kalk und Magnesia, der andere Theil zur Bestimmung des Eisenoxyds verwendet.

Die für die Bestimmung der Thonerde etc. abgemessene Flüssigkeit wird mit Natriumcarbonat nahezu neutralisirt (ein entstehender Niederschlag soll beim Umrühren eben noch wieder verschwinden und eine dunklere Färbung der Flüssigkeit eintreten) und nach Zusatz einer Natriumacetatlösung zum Sieden erhitzt; man läßt einige Zeit kochen, absitzen und filtrirt heiß. Eisenoxyd und Thonerde werden als basische Acetate nebst Ferriphosphat, wenn Phosphorsäure vorhanden, gefällt, sämmtliches Mangan, sowie Kalk, Magnesia und Alkalien bleiben in Lösung; man wäscht den Niederschlag auf dem Filter heiß aus, löst ihn in

[1]) Der hier beschriebene Gang kann natürlich auch bei der chemischen Analyse anderer ähnlicher Gesteine Anwendung finden.

heißer verdünnter Salzsäure und fällt alsdann mit dem geringst möglichen Ueberschuß von Ammoniak Thonerde und Eisenoxyd (Ferriphosphat), läßt absitzen, filtrirt, wäscht mit heißem Wasser aus, trocknet, glüht und wägt den Niederschlag.

Ist kein Mangan oder nur eine Spur davon vorhanden, so kann man aus der ursprünglichen salzsauren Lösung die Thonerde und das Eisenoxyd gleich mit Ammoniak heiß fällen, muß aber dann den erhaltenen Niederschlag rasch abfiltriren.

Will man Thonerde und Eisenoxyd getrennt gleich direct bestimmen, so gießt man die durch Salzsäure erhaltene Lösung des essigsauren (der Acetate) oder durch Ammoniak erhaltenen Niederschlages in überschüssige heiße Kali- oder Natronlauge (thonerde- und kieselsäurefrei), erhält einige Zeit im Sieden und filtrirt die verdünnte Lauge, welche sämmtliche Thonerde gelöst enthält, von dem Eisenoxyde ab; dieses löst man nach dem Auswaschen wiederum in Salzsäure und fällt mit Ammoniak; auf diese Weise erhält man das Eisenoxyd vollkommen alkalifrei. Die alkalische Thonerdelösung wird mit Salzsäure eben sauer gemacht und mit einem geringen Ueberschuß von Ammoniak in der Siedehitze gefällt, abfiltrirt und mit heißem Wasser gut ausgewaschen.

Das Eisenoxyd kann man auch durch Titriren eines besonders abgemessenen Antheils der salzsauren Lösung mittelst Zinnchlorür oder Chamäleonlösung bestimmen und die Menge der Thonerde wird dann aus der Differenz gefunden.

Manche natürliche hydraulische Kalke enthalten auch Eisenoxydul als Carbonat; will man die Menge desselben bestimmen, so wird eine besonders abgewogene Menge des gepulverten Gesteins in Salzsäure gelöst und in der Lösung das Eisenoxydul durch Titriren mit Chamäleonlösung bestimmt; die gefundene Menge muß dann von der Gesammtmenge des oben erhaltenen Eisenoxydes abgerechnet werden.

Zur Bestimmung des Mangans wird das Filtrat vom Natriumacetatniederschlage mit Brom- oder Chlorwasser längere Zeit erwärmt; vorhandenes Mangan scheidet sich als Superoxyd in Flocken ab und ist vollkommen ausgefällt, wenn die Flüssigkeit nach längerem Kochen noch nach Brom oder Chlor riecht oder von etwas Uebermangansäure röthlich gefärbt ist; durch Kochen nach Zusatz von etwas Alkohol reducirt man die Uebermangansäure zu Oxyd. Der Niederschlag von Mangansuperoxyd muß sehr gut ausgewaschen werden, weil er hartnäckig Natron zurückhält; er wird unter Luftzutritt geglüht und als Manganoxyduloxyd gewogen ($100\,Mn_3O_4 = 93{,}013\,MnO$ oder $103{,}943\,Mn_2O_3$). Zu ganz genauen Resultaten gelangt man nur durch Wiederauflösen des Mangansuperoxydes in Salzsäure, Fällung des Mangans mit Schwefelammonium und Wägen als Schwefelmangan.

Das Filtrat vom Mangan oder das vom Thonerde- und Eisenniederschlage durch Ammoniak erhaltene, welches noch Kalk und Magnesia enthält, wird ammoniakalisch gemacht und der Kalk in der Wärme mit Ammoniumoxalat ausgefällt und nach vollständigem Absetzen abfiltrirt, ausgewaschen und als kohlensaurer oder als Aetzkalk bestimmt.

In dem Filtrat schlägt man nach Zusatz von etwa $^1/_3$ Volumen Ammoniakflüssigkeit mittelst Natriumphosphats die Magnesia als Magnesium-Ammonium-

phosphat nieder; man filtrirt nach etwa 12 Stunden, wäscht mit einem Gemisch von 2 bis 3 Vol. Wasser, 1 Vol. Ammoniakflüssigkeit und $1/_8$ Vol. Alkohol aus, trocknet, glüht und wägt. 100 Magnesiumpyrophosphat entsprechen 36,03 Magnesia.

Bei Ausführung dieser Bestimmung kann sich der Uebelstand einstellen, daß der aus der Natriumacetat enthaltenden Lösung präcipitirte Kalk eine beträchtliche Menge Natron enthält, von welcher er nur sehr schwer durch Auswaschen befreit werden kann. Man thut daher gut, den Niederschlag von Calciumoxalat entweder noch einmal in heißer Salzsäure zu lösen und zum zweiten Male zu fällen, oder man kann auch Eisen, Thonerde und Mangan von vornherein mit Schwefelammonium abscheiden, die Schwefelmetalle und die Thonerde in Salzsäure lösen und dann erst mittelst Natriumacetat in der oben angegebenen Weise die Trennung von Eisen und Thonerde vom Mangan bewirken. Das Filtrat von den Schwefelmetallen wird dann mit Salzsäure angesäuert und gekocht (um den Schwefel abzuscheiden), dann abfiltrirt und aus dem Filtrate Kalk und Magnesia, wie angegeben, abgeschieden.

Zur Bestimmung der Alkalien nimmt man eine besondere Probe des Mergels 2c., löst dieselbe in Salzsäure, filtrirt vom Ungelösten und fällt aus dem Filtrate Thonerde, Eisenoxyd, Manganoxydul und Kalk mit Ammoniak und Ammoniumcarbonat; der Niederschlag wird sorgfältig ausgewaschen, das Filtrat zur Trockne eingedampft und zur Verjagung der Ammonsalze über freiem Feuer erhitzt; der Rückstand wird nach dem Erkalten in sehr wenig Wasser aufgenommen und dann mit neutralem Ammoniumcarbonat (Schaffgotsch'sche Mischung) zur Abscheidung der Magnesia versetzt; nach 12 bis 24 Stunden hat sich die Magnesia als Ammonium-Magnesiumcarbonat vollkommen abgeschieden, man filtrirt ab, dampft das Filtrat äußerst vorsichtig zur Trockne, verjagt die Ammoniaksalze und bestimmt die Alkalien als Chloride oder Sulfate.

Die Phosphorsäure wird mittelst Molybdänflüssigkeit durch längere Digestion abgeschieden; der Phosphorsäure-Molybdänsäure-Niederschlag wird in Ammoniak gelöst, und aus der Lösung nach Zusatz von Magnesiasalz und reichlich Ammoniak die Phosphorsäure als Ammonium-Magnesiumphosphat abgeschieden; mit diesem Niederschlag wird, wie bei der Magnesiabestimmung angegeben, verfahren (100 Magnesiumpyrophosphat = 63,97 Phosphorsäure).

Der in Salzsäure unlösliche, mit Alkalilauge ausgekochte, getrocknete und gewogene Theil des Mergels 2c. wird zur Ermittelung seiner Zusammensetzung mit dem dreifachen Kalium-Natriumcarbonat aufgeschlossen, die Schmelze in Wasser aufgeweicht, dann mit Salzsäure bis zur stark sauren Reaction versetzt und die Bestimmung der Kieselsäure und Basen ganz in der vorher beschriebenen Weise ausgeführt. Will man die Alkalien in diesem Rückstande bestimmen, so zersetzt man einen Theil des Rückstandes mit Flußsäure; nach der Einwirkung der Flußsäure wird vorsichtig abgedampft, der Rückstand mit heißer Salzsäure behandelt und die Alkalien, wie oben angegeben, bestimmt [1]).

---

[1]) S. auch Fresenius, Anl. z. quantit. Analyse. Bolley, Handbuch der chem.-techn. Unters. u. Post, Chem.-technische Analyse.

Soll ein Gehalt an Schwefel (Kies) oder Schwefelsäure (Gyps) bestimmt werden, so behandelt man eine besondere abgewogene Menge des Mergels ꝛc. a. für die Ermittelung des Gesammtschwefelgehaltes mit rauchender Salpetersäure, oder mit Salzsäure und Kaliumchlorat im Glaskolben; b. für die Ermittelung der Schwefelsäure mit verdünnter Salzsäure in einer Porcellanschale. Lösung a. und b. werden zur Trockne eingedampft, die Kieselsäure wird abgeschieden und alsdann in der filtrirten Lösung die Schwefelsäure mit Baryumchlorid gefällt; die Differenz von a. und b. ergiebt den Schwefelgehalt.

Fast alle Mergel enthalten auch geringe Mengen Wasser, welches bei 100° noch nicht ausgetrieben wird; will man den Wassergehalt genau bestimmen, so erhitzt man eine gewogene Probe des Mergels in einer Glasröhre, welche in Verbindung steht mit einem Chlorcalciumrohr; nach Beendigung des Versuches ergiebt sich aus der Gewichtszunahme des Chlorcalciums die Menge des im Mergel enthaltenen Wassers. In manchen Mergeln ist auch organische Substanz (Bitumen) vorhanden; erhitzt man ein Stückchen desselben in einer Glasröhre, so entwickelt sich ein brenzlich riechender Dampf und dasselbe wird schwarz. Durch Pulvern, Trocknen bei 100° C., Abwägen, starkes Erhitzen in offenem Tiegel, sodann Befeuchten mit einer Lösung von Ammoniumcarbonat, Trocknen, gelindes Glühen und Wiederwägen läßt sich die Menge der organischen Substanz hinlänglich genau bestimmen.

Will man den in Salzsäure unlöslichen Theil des Gesteines noch näher auf seine Hauptbestandtheile, namentlich darauf, ob dasselbe Sand in gröberen oder feineren Theilchen enthält, prüfen, so zersetzt man eine größere Menge, etwa 50 g Gestein mit Salzsäure, kocht zuletzt 1/2 Stunde lang und unterwirft den ausgewaschenen Rückstand einer Schlämmoperation. Oder: man behandelt nach Michaëlis den in Salzsäure ungelöst bleibenden Rest mit ziemlich starker Schwefelsäure (zwei Volumen concentrirte Schwefelsäure, ein Volumen Wasser) in der Siedehitze; hierbei zeigt sich, ob der thonige Antheil des Rückstandes leicht zersetzbar ist oder nicht. Durch Auskochen des so behandelten und alsdann gut ausgewaschenen Rückstandes mit ätzendem oder kohlensaurem Alkali wird die bei der Zersetzung mit Schwefelsäure abgeschiedene Kieselsäure in Lösung gebracht. Nach ein- bis zweimaligem Aufkochen mit verdünnter Salzsäure bleibt dann nur der unzersetzt gebliebene Thon und die quarzige Kieselsäure als Staubsand oder gröberer Sand zurück. Die Ermittelung des letzteren kann nun durch vorsichtiges Abschlämmen leicht und schnell ausgeführt werden.

Außer dem Mergel liefern noch Material zu hydraulischem Kalk die jurassischen Kalkbildungen in Württemberg (Ulm), der Lias und Keuper der Voralpen Württembergs, Frankens, der Muschelkalk (bei Cassel und Meiningen) ꝛc. Auch aus Wiesenmergeln (Mergelerde) fabricirt man hydraulischen Kalk, indem man dieselben einsumpft, zu Ziegeln formt und brennt.

Frühling[1]) machte auch aufmerksam auf die Verwendung der Plattenkalke, d. h. der Schiefer der Jurakalkformation, wie sie sich nördlich von den Vogesen, im Berglande Hessens, in der hannoverschen Ebene, am Fuße des

---

[1]) Notizblatt f. Fabrik. von Ziegeln, Thonwaaren ꝛc. 1870, S. 107.

Unterharzes, zwischen dem Göttinger Walde und dem Harze und vielen anderen Orten vorfinden. Diese kommen den Kalkmergeln in chemischer Beziehung sehr nahe; hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften unterscheiden sie sich davon durch die schiefrige Structur, rauhen und körnigen Bruch und durch meistens ungleichförmige Mischung.

Die Plattenkalke geben, bei niederer Temperatur gebrannt, ein Product, welches mit Wasser angemacht, rasch abbindet, auch eine ziemliche Härte annimmt, aber nur oberflächlich, während es im Innern sehr lange mürbe bleibt. Werden sie bis zum Sintern gebrannt, so geben sie ein schweres, scharfkantiges, schwer zu mahlendes Product; der gepulverte Cement erhärtet anfangs auch ganz gut, beginnt aber nach Verlauf von einigen Monaten zu treiben. Durch Zumischen von Sand läßt sich letzterer Uebelstand heben, doch nur auf Kosten der Festigkeit des Cementes; ein weiterer Uebelstand der Plattenkalke ist das Zerfallen derselben im Ofen.

Diese Uebelstände lassen sich nach Frühling dadurch umgehen, daß man die vorher auf eine günstige Zusammensetzung erprobten Schiefer ausgräbt (am besten im Herbste), sortirt und die brauchbaren in Haufen aufschichtet und sie während des Winters auswintern läßt. Im Frühjahre läßt man die zerfallenen Schiefer abtrocknen und brennt sie am besten im Ringofen, wobei man darauf achten muß, daß die Brennperiode länger andauert, damit eine Wechselwirkung der vorhandenen Stoffe eintreten kann. Sollte der Cement dennoch treiben, so kann man dasselbe durch einige Wochen lange Magazinirung des Cementes vor seiner Verpackung vollends compensiren.

Zum Brennen der hydraulischen Kalke bedient man sich meistens der continuirlichen Schachtöfen, und schichtet die Steine mit Steinkohlen oder Coaks. Durch Vorversuche ist das richtige Verhältniß zwischen Brennmaterial und Steinen festzustellen. Die Steine werden etwa bis zur Faustgröße zerkleinert, weil größere Stücke sich nicht oder nur schwierig durch und durch gar brennen lassen und kleinere den Zug unterbrechen. Oefen, bei denen die Feuerung äußerlich angebracht ist, wie die Rüdersdorfer Oefen, eignen sich nicht, weil in der Nähe der Feuerung die Hitze höher ist als in der Mitte.

Nach dem Brennen werden die zu schwach gebrannten und die verglasten Steine ausgelesen.

Um die Bildung der hydraulischen Kalke durch Brennen zu verstehen, ist es nothwendig, die Zusammensetzung der Materialien, welche zu hydraulischem Kalk benutzt werden, im gebrannten und ungebrannten Zustande kennen zu lernen.

In Tabelle I. sind die Analysen der Rohmaterialien, Mergel in Bayern vorkommend, zusammengestellt, aus denen die hydraulischen Kalke gebrannt werden (Feichtinger[1]). In Tabelle II. sind die Analysen hydraulischer Kalke, aus den unter I. mit gleicher Bezeichnung aufgeführten Rohmaterialien gebrannt, zusammengestellt.

[1]) Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1858, S. 214.

Tabelle I.

		I.	II.	III.	IV.	V.
In Salzsäure löslich	Kohlensaurer Kalk . .	55,87	59,33	68,02	61,08	73,11
	Kohlensaure Magnesia .	0,60	0,88	1,60	1,08	2,13
	Kohlens. Manganoxydul	Spuren	—	—	0,40	Spuren
	Eisenoxyd	5,03	6,93	2,61	4,95	2,24
	Thonerde	1,16	4,07	5,13	2,83	1,06
	Phosphorsäure . . .	—	—	Spuren	Spuren	0,44
	Schwefelsaurer Kalk .	0,74	1,02	1,08	0,26	0,82
	Wasser	1,04	4,12	6,12	2,28	1,06
In Salzsäure unlöslich	Kalk	0,70	—	—	—	0,84
	Eisenoxyd	2,04	1,10	1,30	1,36	2,30
	Thonerde	2,60	1,63	1,04	0,80	2,88
	Kieselsäure	29,19	20,14	12,70	24,05	12,10
	Kali	0,35	0,28	0,24	0,35	0,36
	Natron	0,50	0,46	0,62	0,50	0,53
		99,82	99,96	99,46	99,87	99,94

Tabelle II.

		I.	II.	III.	IV.	V.
In Salzsäure löslich	Kalk	44,96	46,07	52,46	47,53	50,40
	Magnesia	1,52	0,90	0,50	2,04	1,24
	Manganoxyd	Spur	—	—	0,56	Spur
	Eisenoxyd	5,83	5,00	8,07	7,34	8,64
	Thonerde	6,43	7,13	7,43	4,15	4,71
	Kohlensäure	4,52	1,38	2,25	5,58	4,61
	Phosphorsäure . . .	—	Spuren	Spuren	Spuren	0,52
	Schwefelsäure	1,20	1,96	1,30	0,40	1,10
	Kali	0,45	0,25	0,30	0,48	0,50
	Natron	0,64	0,56	0,78	0,60	0,73
In Salzsäure unlöslich	Eisenoxyd	0,40	0,58	0,28	0,80	Spuren
	Thonerde	0,74	0,36	0,83	0,60	0,70
	Kieselsäure	32,60	34,07	25,21	28,56	25,29
	Wasser	0,72	1,47	0,68	1,20	1,38
		100,01	99,75	100,09	99,84	99,72

(Zu Tabelle II. sei bemerkt, daß bei sämmtlichen Mergeln der größte Theil der Kieselsäure nach dem Brennen in Salzsäure löslich war; es wurde aber gleich die ganze Menge Kieselsäure auf einmal bestimmt.)

Nach Carl Knauß[1]) hatten englische Kalkcementsteine A. B. C. und daraus gebrannte Cemente D. E. F. nachstehende Zusammensetzung:

	Ungebrannter Kalkstein	A.	B.	C.
In Salzs. unlöslich	Quarz	6,0	12,3	9,2
	Kieselerde	10,5	9,0	8,1
	Eisenoxyd	1,2	1,9	2,1
	Thonerde	2,5	2,4	3,8
		20,2	25,6	23,2
In Salzsäure löslich	Kieselerde	0,7	0,6	0,5
	Eisenoxyd	11,6	6,3	2,3
	Manganoxyd	Spur	Spur	Spur
	Thonerde	4,3	1,1	1,6
	Kohlensaurer Kalk	52,4	57,8	68,7
	Kohlensaure Magnesia	7,0	5,7	2,3
	Kali	0,8	0,9	0,7
	Natron	0,2	0,2	0,3
	Wasser	2,8	1,8	0,4
		100,0	100,0	100,0

	Cement	D.	E.	F.
In Salzs. unlöslich	Quarz	6,2	8,3	11,0
	Kieselerde	0,3	0,5	2,8
	Eisenoxyd und Thonerde	1,3	1,7	4,4
		7,8	10,5	18,2
In Salzsäure löslich	Kieselerde	19,4	17,4	9,1
	Eisenoxyd	9,2	12,4	7,1
	Manganoxyd	Spur	—	Spur
	Thonerde	7,3	4,6	9,8
	Kalk	48,2	46,1	49,6
	Magnesia	2,7	3,7	1,6
	Kali	0,8	0,9	0,8
	Natron	0,2	0,1	0,2
	Wasser	1,0	0,7	0,9
	Kohlensäure	3,4	3,6	2,7
		100,0	100,0	100,0

A. Kalkstein aus der Grafschaft Kent.
D. Daraus der sogenannte Sheppey-Cement.
B. Kalkstein aus der Grafschaft Essex.
E. Daraus der Harwich-Cement.
C. Kalkstein aus der Grafschaft Yorkshire.
F. Daraus der Whiteby-Cement.

[1]) Dingl. pol. J. 135, 361.

Welcher Hitzegrad beim Brennen angewendet werden soll, hierfür lassen sich keine allgemeinen Regeln aufstellen; es hängt dies ab von der Menge und von der Natur, namentlich der chemischen Zusammensetzung des Thons und in dieser Beziehung sind die verwendeten Rohmaterialien der größten Abwechselung unterworfen; dasselbe gilt auch von der Dauer, während der die Hitze einwirkt. Im Allgemeinen läßt sich wohl sagen, daß, wenn der in Säuren unlösliche Bestandtheil des Mergels ausschließlich oder vorwiegend aus Kieselerde (Quarzsand) besteht, eine gelindere aber anhaltende Hitze anzuwenden ist; enthält er ausschließlich oder vorwiegend Thon, so ist eine schärfere Hitze von kürzerer Dauer vorzuziehen (Pettenkofer); ferner je höher der Silicatgehalt steigt, desto vorsichtiger ist der Brennproceß zu leiten; die Mergel müssen um so schwächer gebrannt werden, je höher der Silicatgehalt steigt.

Immer hat man beim Brennen auf eine möglichst gleichmäßige und dem Materiale entsprechende Hitze zu halten, so daß die Kohlensäure des Kalkes ganz oder doch zum größten Theile ausgetrieben wird, ohne daß das Material zusammensintert und es erfordert daher das Brennen eine große Umsicht, um das Richtige zu finden.

Wie bereits erwähnt, ist die chemische Zusammensetzung der Mergel in einem und demselben Flötze oft sehr wechselnd. Diesem Umstande wird in der Praxis bei Fabrikation von hydraulischem Kalk durch Brennen nicht immer Rechnung getragen; es werden alle Steine aus dem gleichen Bruche, wenn sie auch oft noch so verschieden sind, auf gleiche Weise gebrannt. Die Folge davon ist, daß die einzelnen Brände nicht immer von gleicher Beschaffenheit ausfallen und daß einmal ein gutes und das andere Mal ein schlechtes Product erzielt wird. Man berücksichtigt in der Praxis nicht immer den Umstand, daß jedes Material einen eigenen, seiner Zusammensetzung nach passenden Hitzegrad verlangt. Es sollte daher von Zeit zu Zeit eine chemische Analyse des Rohmaterials vorgenommen werden, um hierdurch Anhaltspunkte für die geeignetste Behandlung beim Brennen zu erhalten.

Wenn nun in ein und demselben Mergellager mehrere Schichten von auffallend verschiedener Zusammensetzung vorkommen, so kann wohl dadurch ein einigermaßen taugliches Material gewonnen werden, wenn man dieselben gattirt; man brennt dann einen kalkärmeren und einen kalkreicheren Mergel in entsprechenden Verhältnissen gleichzeitig im Ofen, mahlt und mengt nach dem Brennen. Ueber die Verhältnisse bei der Gattirung entscheidet natürlich die Analyse und ein Brennversuch; man ist dann oft durch Gattiren im Stande, einen Cement herzustellen, dessen Eigenschaften, wie Raschheit der Bindung, Erhärtung 2c., genau regulirt werden können.

Welchen Einfluß verschiedene Hitzegrade beim Brennen äußern, zeigen die von A. v. Kripp[1]) mit drei Mergelproben von Häring (Tyrol) angestellten Versuche. Diese Mergelproben waren von nachstehender Zusammensetzung:

---

[1]) Chem. Centralbl. 1866, S. 49. Knapp's Lehrb. d. chem. Technol. III. Aufl. 1, 771.

		I.	II.	III.
In Salzsäure löslich	Kohlensaurer Kalk	74,53	66,20	57,85
	Kohlensaure Magnesia	3,63	4,44	5,44
	Thonerde	1,38	2,31	3,88
	Eisenoxyd	0,54	1,68	2,19
	Kali und Natron	nicht bestimmt	0,21	nicht bestimmt
	Wasser und organische Substanz	2,13	2,53	2,04
In Salzsäure unlöslich	Quarzsand	6,05	9,55	10,61
	Gebundene Kieselsäure	6,76	8,60	11,51
	Thonerde	2,33	2,42	3,32
	Eisenoxyd	1,22	0,54	1,13
	Kalk	0,42	0,38	0,59
	Magnesia	0,21	0,17	0,32
	Kali	0,59	0,78	1,18
	Natron		0,22	

Diese drei Proben stammten von demselben Mergellager, I. war die unterste, II. die mittlere und III. die oberste Schicht.

Zur genaueren Ermittelung des Verhaltens in der Hitze wurde jeder Mergel bei drei verschiedenen Hitzegraden gebrannt.

a. In Röstscherben in der Muffel so lange erhitzt, bis die Stücke zwar durchgebrannt, aber nicht aller Kohlensäure beraubt waren, dann gepulvert und mit Wasser angemacht; hierbei zeigten sich folgende Erscheinungen:

I.	II.	III.
Erwärmte sich ziemlich stark mit Wasser und erstarrte schnell zu einer grusigen Masse, die sich nicht mehr zu einem Ballen formen ließ.	Erwärmte sich nicht mit Wasser, der daraus geformte Ballen nahm einige Consistenz an, blieb aber längere Zeit weich und erhärtete sehr langsam.	Erwärmte sich nicht mit Wasser, zog wohl etwas an, erlangte aber keine Festigkeit.

b. So lange gebrannt, bis alle Kohlensäure ausgetrieben war:

I.	II.	III.
Erhitzte sich noch mehr mit Wasser wie bei a. und erstarrte augenblicklich zu einem steinharten Kuchen.	Erwärmte sich wenig mit Wasser und war nach einigen Minuten schon so hart, daß ein Druck mit dem Fingernagel nur eine schwache Spur hinterließ. Nach $1^1/_2$ Jahren war diese Probe von äußerst großer Härte.	Verhielt sich wie beim Versuch a.

c. Im Gebläseofen einer solchen Temperatur ausgesetzt, daß die Ränder zum Schmelzen kamen, was aber beim Mergel I. nicht gelang, der dabei in kleine leicht zerreibliche Stückchen zerfiel:

I.	II.	III.
Erhitzt sich sehr stark mit **Wasser** und verhielt sich ähnlich wie bei a.	Erwärmte sich nicht mit Wasser, zog langsam an, wurde aber zuletzt noch fester und dichter als bei Versuch b.	Nahm gar keine Consistenz mehr im Wasser an.

Beim Brennen der hydraulischen Kalke verliert zuerst der kohlensaure Kalk seine Kohlensäure und wird zu Aetzkalk; dieser wirkt dann auf den thonigen Bestandtheil gerade so ein, wie eine starke Base auf ein Silicat, d. h. er **wird aufgeschlossen**.

Im ungebrannten Mergel lösen sich nur die kohlensauren alkalischen Erden, dann die Beimengungen von Eisenoxyd, Thonerde etc. in Säuren, die thonigen Bestandtheile bleiben unverändert; im gebrannten Mergel lösen sich auch letztere in den Säuren zum größten Theile oder ganz unter Abscheidung gallertartiger Kieselsäure.

Das Aufschließen mit Kalk ist aber gleichbedeutend mit Bildung einer Verbindung der Kieselsäure mit Kalk, einer Verbindung, welche durch Säuren zersetzt wird. Wie wir später sehen werden, beruht die Erhärtung der hydraulischen Kalke unter Wasser hauptsächlich auf der Bildung sehr basischer Kalkhydratsilicate. Die Einwirkung zwischen Thon und Kalk im Feuer darf deshalb nicht so weit gehen, daß die im Feuer gebildete Verbindung auf nassem Wege keinen Kalk mehr aufzunehmen vermag. Die hydraulischen Kalke dürfen daher nur so stark gebrannt werden, daß die Kohlensäure vollständig ausgetrieben, der Thon vollständig oder beinahe vollständig aufgeschlossen und noch eine beträchtliche Menge freien Kalkes nach dem Brennen vorhanden ist.

Die hydraulischen Kalksteine verhalten sich nach dem Brennen verschieden; manche davon löschen sich mit Wasser noch ähnlich wie gewöhnlicher Weißkalk, nur etwas langsamer, unter bedeutender Wärmeentwickelung zu pulverförmigem Hydrat oder zu Kalkbrei; dieses Verhalten ist darin begründet, daß die thonigen Beimischungen in unregelmäßigen Lagen (nicht gleichmäßig fein vertheilt) sich zwischen den thonarmen Kalkarten eingebettet haben; letztere verhalten sich nahezu wie reiner Kalk. Kalksteine von solcher Beschaffenheit geben nach dem Brennen das, was man jetzt als **hydraulischer Kalk** bezeichnet; derselbe kommt entweder in Stücken oder auch in Pulverform in den Handel [1]).

Diejenigen hydraulischen Kalksteine dagegen, welche nach dem Brennen sich nicht mehr mit Wasser ablöschen, nicht zerfallen, müssen vor der Versendung gemahlen werden und das dargestellte Pulver wird jetzt als **Romancement** unterschieden.

Zum Mahlen des **Romancementes** dienen dieselben Vorrichtungen, wie zum Feinmahlen des Portlandcementes, weshalb wir nur hier darauf hinweisen wollen.

Hydraulischer Kalk aus dolomitischen Kalken. Vicat, Deville u. A. beobachteten, daß die **Magnesia** hydraulische Eigenschaften besitzt und daß, wenn man Dolomit so brennt, daß nur die Magnesia, nicht aber der Kalk die Kohlensäure verliert, d. h. bei einer unter der Rothgluth liegenden Temperatur (etwa 400° C.), der so gebrannte Dolomit unter Wasser sehr rasch zu einer außer-

---

[1]) **Frühling**, Notizblatt f. Fabrik. von Ziegeln etc. 1878, S. 140.

ordentlich festen Masse erhärtet. Wird beim Brennen des Dolomits aber eine höhere Temperatur angewendet, so daß Aetzkalk in erheblicher Menge entsteht, so quillt das Product beim Behandeln mit Wasser auf, zerfällt und es findet keine Erhärtung statt. (Näheres s. bei Magnesiacement.)

In der Natur kommen häufig dolomitische (stark magnesiahaltige) Mergel vor, welche vielfältig zu ganz vorzüglichen hydraulischen Kalken verwendet werden, obwohl von Einigen der Magnesia, wenn sie in etwas größerer Menge den Kalk vertritt, eine nachtheilige Wirkung bei der Erhärtung der Kalk-Thonerdesilicate zugeschrieben wird.

Nach Dr. W. Michaëlis[1]) geben Magnesiakalksteine (thonhaltige) nach dem Brennen unter Wasser gut erhärtende Verbindungen. Er sagt in Bezug hierauf: „Bei zu starkem Brennen wird die Wirkung der Magnesia vollständig aufgehoben durch zu große Mengen Kalkes, welcher mit Wasser sein Volumen um das Mehrfache vergrößert und als Kalkbrei nichts weniger als ein festes, für die Verkittung geeignetes Substrat abzugeben vermag. Je weniger Kieselsäure und Thonerde in den magnesiahaltigen Steinen enthalten ist, desto wichtiger ist es, den Brennproceß so in Schranken zu halten, daß nur wenig Kalk Kohlensäure verliert; je thonreicher dieselben aber sind, desto weniger hat man einen Nachtheil von der Anwendung zu hoher Temperaturen zu fürchten. Der freie Kalk findet bei thonreichen dolomitischen Kalken hinreichend Kieselsäure und Thonerde, um mit diesen hydraulische Verbindungen, welche mit Wasser nicht oder nur wenig gedeihen, zu bilden."

Mit Heldt[2]) kam C. Bender[3]) bei Versuchen zu dem Resultate, daß die Magnesia eine nachtheilige Rolle bei der Erhärtung der Kalk-Thonerdesilicate unter Wasser spiele, wenn dieselbe in etwas größerer Menge den Kalk vertritt. Bender untersuchte einen dolomitischen Mergel aus der Nähe von Grenzach (Schweiz), welcher, wie folgt, zusammengesetzt war:

In Salzsäure löslich:		In Salzsäure unlöslich:	
Kohlensaurer Kalk	57,67	Kieselsäure	13,60
Kohlensaure Magnesia	19,24	Thonerde, Eisenoxyd	4,21
Kohlensaures Eisenoxydul	1,39	Phosphorsäure	0,12
„ Manganoxydul	1,11	Kalk	0,26
Thonerde	0,25	Magnesia	0,40
Phosphorsäure	0,31	Rest	1,74
Wasser	1,12		

und fand, daß weder die schwach bei etwa 400 bis 500° gebrannten Steine, noch die bis zur vollständigen Aufschließung des Thones, oder die bis zur Sinterung erhitzten Steine ein unter Wasser kräftig erhärtendes Product gaben.

L. Gätschenberger[4]), der ebenfalls Versuche mit einem dolomitischen Mergel aus der Nähe von Heidelberg, der im gebrannten Zustande zusammengesetzt war:

[1]) Die hydr. Mörtel, insbesondere der P.-C. S. 78. [2]) Journ. f. prakt. Chemie 94, 129 ff. [3]) Dingl. pol. J. 198, 504. [4]) Dingl. pol. J. 192, 421.

Kalk	44,22
Magnesia	17,77
Eisenoxyd	3,07
Thonerde	3,75
Manganoxydul	2,33
Kali und Natron	4,72
Kieselsäure	22,14

anstellte, kam zu folgenden Resultaten: Es giebt zwei Wege, um ein Product von vorzüglichen hydraulischen Eigenschaften zu gewinnen, erstens: Brennen bei etwas unter 400°, so daß nur die Magnesia Kohlensäure verliert und der Kalk nicht, und zweitens: man brennt bis zur Sinterung. Wenn man den Mergel bei einer Temperatur brennt, welche etwas unter 400° liegt, so verliert die Magnesia alle Kohlensäure, während der kohlensaure Kalk unverändert bleibt. Man erhält ein Product von vorzüglichen hydraulischen Eigenschaften, da die Magnesia unter Wasser bei Gegenwart von kohlensaurem Kalk erhärtet. Ist aber Aetzkalk in größerer Menge, durch Anwendung einer etwas höheren Temperatur gebildet worden, so wird der Cement gewöhnlich rissig. Bei sehr hoher Temperatur, bei welcher der Mergel stark sintert, verliert die Magnesia ihre hydraulischen Eigenschaften, spielt aber nun vermöge ihrer Verwandtschaft zur Kieselsäure eine ähnliche Rolle wie der Kalk, und es entsteht ein Cement, der dem ersteren durch rasches und vorzügliches Erhärten überlegen ist.

Daß aus magnesiahaltigen Mergeln, wenn sie bei keiner zu hohen Temperatur gebrannt werden, hydraulische Kalke gewonnen werden können, dafür spricht die Thatsache, daß in einem oberbayerischen Etablissement (Oberkammerloh bei Tegernsee) schon seit langer Zeit ein dolomitischer Mergel zur Fabrikation eines vorzüglichen Romancementes benutzt wird. Die Zusammensetzung dieses Mergels ist in den einzelnen Schichten von wechselnder Zusammensetzung, wie aus nachstehenden Analysen ersichtlich ist:

		I.	II.	III.	IV.
In Salzsäure löslich	Kohlensaurer Kalk	45,31	48,64	46,59	46,28
	Kohlensaure Magnesia	25,44	24,30	26,37	27,30
	Eisenoxyd	1,24	1,63	1,41	1,12
	Thonerde	0,94	1,28	1,10	0,74
	Wasser	2,89	4,26	1,47	1,31
In Salzs. unlöslich	Kieselsäure	20,52	16,87	19,74	20,39
	Thonerde	2,97	2,48	2,79	2,47
	Eisenoxyd	0,60	0,43	0,55	0,46
		99,91	99,89	100,02	100,07

Die **Romancemente und hydraulischen Kalke im engeren Sinne** haben das gemein, daß beim Brennen derselben keine Sinterung (beginnende Schmelzung) eingetreten ist; durch das Brennen wurde nur die Kohlensäure vollständig oder beinahe vollständig ausgetrieben und der beigeschlossene Thon oder Kieselsäure theils oder vollständig aufgeschlossen und zwar so, daß Kalksilicat (aber kein stark basisches) entstanden ist; sie enthalten daher noch eine gewisse Menge Aetzkalk. Die Farbe derselben geht von hell- bis dunkelgelb auch ins Rothbraune. Sie unterscheiden sich von den Portlandcementen, welche bis zur Sinterung gebrannt sind, noch dadurch, daß ihre Zusammensetzung viel mehr wechselt und daß sie ein geringeres specifisches Gewicht haben (dasselbe schwankt zwischen 2,55 und 3,00); sie erwärmen sich, frisch gebrannt (ehe sie sich noch an der Luft abgelöscht haben), beim Anmachen mit Wasser meist viel stärker als Portlandcement um 50° und darüber; sie nehmen begieriger Kohlensäure und Wasser aus der Luft auf als Portlandcemente und verschlechtern sich dadurch, daher müssen sie gut vor Zutritt der Luft geschützt werden.

Die Romancemente erhärten in der Regel viel geschwinder unter Wasser wie Portlandcement, doch verhalten sie sich in dieser Beziehung sehr verschieden; auch die beim Erhärten erlangte Festigkeit ist sehr wechselnd. Die Prüfung der Romancemente auf ihre Bindekraft und Festigkeit 2c. werden wir später besprechen. Die Romancemente und die hydraulischen Kalke im engeren Sinne spielen durch das reichliche und vielfältige Vorkommen brauchbaren Materials noch immer eine bedeutende Rolle, obwohl stark bedrängt durch die immer mehr steigende Concurrenz des besseren Portlandcementes; sie finden immer noch eine große Verwendung, weil sie billiger sind.

c. Portlandcement.

(Künstlicher hydraulischer Kalk.)

Die Beobachtung von Smeaton, daß Kalksteine, welche einen gewissen Betrag von Thon enthalten, nach dem Brennen unter Wasser erhärten, wie auch die vorzüglichen Eigenschaften des aus dem Sheppey- (nodules of clay) und dem Boulogner Kalksteine (galets) erbrannten Romancements und Boulogner hydraulischen Kalkes, in denen ebenfalls Thongehalt nachgewiesen wurde, führte zuerst am Anfange dieses Jahrhunderts die Franzosen, namentlich Vicat, zu Versuchen, auf künstlichem Wege durch Mischen von Calciumcarbonat (Kreide) und Thon und Brennen dieses Gemisches einen hydraulischen Kalk von gleicher Güte herzustellen, welche Versuche einen guten Erfolg hatten und später auch zur Bereitung der vorzüglichen Portlandcemente führten.

Auch in England, wo der sehr große Bedarf an Wassermörtel durch die theure Puzzolane und den Traß und das durch Patent geschützte Romancement nicht mehr gedeckt werden konnte, wurde bald dieser Weg betreten, und wir finden, daß vom Jahre 1810 an in England mehrere dahin bezügliche Patente auf Herstellung von künstlichem hydraulischem Kalk genommen wurden, welche alle dasselbe

Verfahren zum Ausgangspunkte hatten; aber die Sache nahm anfangs keinen großen Aufschwung, weil man nicht berücksichtigte, daß der Erfolg abhänge sowohl von der chemischen Zusammensetzung des Thons als auch von dem Mischungsverhältnisse zwischen Thon und Calciumcarbonat.

Erst Joseph Aspdin, einem Maurer zu Leeds (Grafschaft York), gelang es, durch mehr als 10 Jahre mit der größten Ausdauer fortgesetzte Versuche, bei Anwendung ganz bestimmter Verhältnisse und einer sehr hohen Temperatur beim Brennen einen hydraulischen Kalk von ganz vorzüglichen Eigenschaften zu erzeugen, welchem er den Namen Portlandcement gab und zwar aus dem Grunde, weil das in Wasser erhärtete Product an Farbe und Haltbarkeit dem berühmten in England so häufig zu Bauten verwendeten Portlandstone ähnlich war. Diese Bezeichnung ist nachher für alle künstlich aus Thon und Kalkstein erzeugten hydraulischen Kalke beibehalten worden.

J. Aspdin erhielt am 21. October 1824 ein Patent für eine Verbesserung in der Erzeugung von künstlichem Stein; der von ihm dargestellte Portlandcement wird danach folgendermaßen gewonnen: „Der Schlamm oder Staub von mit Kalkstein gepflasterten Wegen, oder wenn dieses Material nicht in genügender Menge zu haben ist, Kalkstein gebrannt und gelöscht, wird mit einer bestimmten Menge Thon mit Hülfe von Wasser durch Handarbeit oder irgend welche Maschinen zu einem unfühlbaren Brei vermischt; die plastische Masse wird getrocknet, dann in Stücke zerbrochen und in einem Kalkofen gebrannt, bis alle Kohlensäure entwichen ist; das gebrannte Product wird durch Mahlen, Kollern oder Stampfen in Pulver verwandelt und ist zum Gebrauch fertig.“

J. Aspdin wird vielfach als der Erfinder von künstlichem hydraulischem Kalk bezeichnet, was nicht richtig ist; sein Verfahren ist dasselbe, wie es in Frankreich und in England schon vor ihm praktisch ausgeführt und von Vicat veröffentlicht wurde. Aspdin's Verdienst ist, ein richtiges Mischungsverhältniß zwischen Thon und Kalk und eine geeignete Temperatur angewendet und einen vorzüglichen hydraulischen Kalk erbrannt zu haben, wie er vorher im Großen noch nicht dargestellt wurde, und den er mit dem Namen Portlandcement bezeichnete.

Die Fabrikation von Portlandcement wurde noch weiter gefördert durch die umfassenden praktischen Versuche des Generals Pasley (1826), welcher fand, daß Portlandcement auch durch Brennen eines Gemisches von Kalkstein oder Kreide mit einem blauen Thon, welcher sich von dem Medwayflusse bei seiner Einmündung in die Themse als Schlamm absetzt, erzeugt werden kann. Die Folge davon war, daß dann bald in England große Fabriken entstanden und daß die Engländer auch lange Zeit den Markt ausschließlich mit dem von ihnen erzeugten Portlandcement versahen.

Seit ungefähr 35 Jahren hat man auch auf dem Continente angefangen, Portlandcement herzustellen, und es hat die Fabrikation desselben jetzt, namentlich in Deutschland, einen colossalen Aufschwung angenommen. In Deutschland wurde Portlandcement zuerst im Jahre 1850 durch Gieron in Stettin dargestellt, hierauf 1852 von Dr. Bleibtreu bei Stettin (auf der Insel Wollin), von welchem dann auch später in Bonn eine Fabrik errichtet wurde. Zur Zeit

existiren wohl über 40 Portlandcementfabriken in Deutschland und man kann behaupten, daß nicht nur die deutsche Industrie in Bezug auf Portlandcement sich ganz von England unabhängig gemacht hat, sondern daß Deutschland England jetzt weit übertrifft, nicht sowohl hinsichtlich der Productionsfähigkeit als auch hinsichtlich der Beschaffenheit des Portlandcementes. Die Ursache dieses großen Aufschwunges liegt hauptsächlich darin, daß die deutschen Cementfabrikanten bestrebt sind, nur ein Product von tadelloser Beschaffenheit herzustellen.

Die Portlandcemente sind im Allgemeinen künstlich durch Mischung von Thon und Kalk erzeugte hydraulische Kalke, obwohl, wie wir weiter unten sehen werden, auch Mergel zu Portlandcement gebrannt werden kann. Ein großer Vorzug bei der Fabrikation von Portlandcement durch Mischen von Thon und Kalk liegt immerhin darin, daß derselbe gleichmäßiger in seiner Zusammensetzung, mithin immer von gleicher Güte erzeugt werden kann, was bei natürlichen hydraulischen Kalken (Mergeln) seltener der Fall ist, da hier die einzelnen Schichten des Mergellagers in der chemischen Zusammensetzung oft sehr von einander abweichen. Wenn sich auch, wie früher angegeben, durch Gattirung von Mergeln verschiedener Zusammensetzung ein einigermaßen sich gleichbleibendes Material herstellen läßt, so geschieht das doch nur in sehr unvollkommener Weise.

Die Güte des auf künstlichem Wege erzeugten Portlandcementes ist abhängig von der geeigneten Beschaffenheit der Materialien, namentlich des Thones, von der möglichst innigen und gleichmäßigen Mischung in richtigem Verhältnisse und von der richtigen Temperatur beim Brennen.

1. Materialien zur Bereitung von Portlandcement.

Als Kalk verwendet man der leichteren Verarbeitung halber meistens Mergelerde, Kreide oder tuffartige oder mulmige Süßwasserkalke (Wiesenkalk), seltener Steinkalk oder dichten Mergel, da diese, um in den Zustand möglichst feiner Zertheilung übergeführt zu werden, entweder erst gebrannt und sodann abgelöscht oder auf Maschinen mit Aufwendung großer Kraft zu Pulver verarbeitet werden müssen, wodurch die Gestehungskosten sich erheblich erhöhen. Wenn auch unbestritten der gebrannte und mit Wasser abgelöschte Kalk viel geeigneter ist, um eine äußerst innige Mischung mit dem Thon herzustellen, so zieht man es doch in beinahe allen Fabriken, wo man dichten Kalkstein oder festere Mergel verwendet, vor, diese ungebrannt zu verwenden und sie als solche in ein möglichst feines Mehl zu verwandeln, weil der andere Weg, Brennen und Ablöschen zu Pulver, viel höhere Bereitungskosten verursacht.

Im Allgemeinen kann man annehmen, daß dasjenige Kalkmineral, welches den größten Gehalt an kohlensaurem Gehalt hat und sich am leichtesten zu einem äußerst feinen Pulver oder zu einem feinen Schlamm verarbeiten läßt, zur Fabrikation von Portlandcement am tauglichsten ist. Selbstverständlich muß ein Gehalt des Kalkes an thonigen Bestandtheilen bei der Zusammensetzung der Cementmischung berücksichtigt werden.

Manche Kalkmineralien enthalten oft große Mengen Sand, die Kreide auch Feuerstein, beigemischt, durch deren Verbleiben die Qualität des Cementes beein-

trächtigt wird; ihre Ausscheidung muß dann durch einen Schlämmproceß bewirkt werden.

Die Frage, ob auch mit magnesiahaltigen (dolomitischen) Kalken ein tauglicher Portlandcement sich erzeugen lasse, ist mehrfach schon Gegenstand der Erörterung gewesen. Im Allgemeinen haben die Ansichten, wenigstens bei Vorhandensein von erheblichen Mengen von Magnesia, sich in verneinendem Sinne ausgesprochen (s. auch S. 102). In neuester Zeit sind zur Aufklärung dieser Frage von Dr. L. Erdmenger[1]) eingehende Versuche angestellt worden, welcher zu nachstehenden Resultaten kam.

Dr. L. Erdmenger hat zu seinen Versuchen drei Schichten Zechsteinkalk verwendet mit folgender Zusammensetzung:

	Schicht a.	Schicht b.	Schicht c.
Kohlensäure	40,0	40,0	46,1
Kalk	33,0	31,5	30,7
Magnesia	13,1	17,5	19,5
Thonerde + Eisenoxyd . . .	5,0	1,2	1,8
Kieselsäure + Unlösliches . .	7,5	5,0	2,6
Summa der kohlensauren Salze	86,1	89,0	96,3

Der zur Verwendung hinreichend getrocknete Thon bestand im Wesentlichen aus:

Kieselsäure (+ Unzersetzbares)	55,4
Thonerde (+ wenig Eisenoxyd)	34,5
Wasser.	9,5

Der Cement, welcher aus den Zusammenmischungen von Kalk und Thon — nach den erforderlichen, zunächst empirisch gefundenen Verhältnissen — resultirte, hatte je nach den verschiedenen Kalksorten im Wesentlichen folgende Zusammensetzung:

	Cement aus Schicht a.	Schicht b.	Schicht c.
Kalk	52,4	49,0	47,5
Magnesia	20,6	27,2	30,1
Thonerde (+ Eisenoxyd) . .	10,9	7,1	8,8
Kieselsäure (+ Unlösliches) .	16,7	16,5	13,4

Der in diesen Zusammensetzungen erhaltene — ganz wie gewöhnlicher Portlandcement bei annähernd Weißgluth erbrannte — Cement unterschied sich in der Farbe der festen erbrannten Stücke und des Pulvers wenig von anderen Portlandcementen. Das specifische Gewicht des Pulvers stellte sich zu 2,9 bis 3,2; 40 g dieser Kalkmagnesiacemente, je mit 20 g Wasser angemacht, bewirkten eine Temperaturerhöhung von 1 bis $2^1/_2{}^0$ C.

Weitere Versuche führten ihn zu folgenden Punkten:

1. Bei magnesiahaltigen Kalken richtet sich zum Behufe der Erzeugung von Portlandcement der Thonzusatz lediglich nach dem Gehalte an freiem Kalk, ganz

---

[1]) Erdmenger, Dingl. pol. J. 209, 286 u. 211, 13.

so wie bei gewöhnlichen, zur Portlandcementfabrikation verwendeten Kalken. Die Magnesia kann nicht als einen Theil des Kalkes ersetzende Basis in Rechnung gezogen werden. Bei solcher Annahme würde ein zu hoher Thonzusatz gegeben und ein untaugliches Product erzielt werden.

2. Der Zersetzungsproceß der Kalkverbindungen und in Folge dessen der Erhärtungsproceß wird durch die Anwesenheit der nach Allem wohl als freie Base vorhandenen Magnesia nicht verhindert.

3. Bei scharfem Brennen wird das specifische Gewicht des Kalkmagnesiacementes nicht, wie man bei Anwesenheit von viel freier Magnesia vielleicht vermuthen dürfte, unter dasjenige des gewöhnlichen Portlandcementes herabgestimmt.

4. Die fast augenblickliche Haltbarkeit des mit Wasser angemachten Kalkmagnesiacementes in Wasser dürfte wohl der Anwesenheit der freien Magnesia zuzuschreiben sein.

5. Untersuchungen über die absolute Festigkeit ergaben, daß der Portlandcement aus dolomitischem Kalk dem aus gewöhnlichem Kalk erzeugten in der Festigkeit sehr erheblich nachsteht und nicht gleichen Rang mit letzterem beanspruchen kann. Der Maurer stellt sich beim Verarbeiten einen bequemen dünnflüssigen Zustand des Mörtels her; zur Erzielung desselben bei magnesiahaltigem Kalk muß man aber mehr Wasser zugeben als bei gewöhnlichem Portlandcement. Da schon bei gleichem Wasserzusatz der Kalkmagnesiacement ähnlich wie mit Sand gemischter Cement hinter der Festigkeit des gewöhnlichen Portlandcementes zurückbleibt, kommt er durch den höheren Wasserzusatz noch ein zweites Mal in Betreff der zu erzielenden Festigkeit in Nachtheil. Hinzu tritt nun noch das Quellen, welches abermals die Festigkeit herabstimmt. Bekanntlich erhält man aus dolomitischen Kalken durch schwaches Brennen und Beimischung von Thon (um etwaigem Treiben durch Kalk vorzubeugen) ganz vorzügliche Mörtel. Durch das Brennen bis zu annähernder Weißgluth erzielt man zwar ein viel dichteres Pulver; da aber der Cement als Mörtel nicht entsprechend dicht bleibt, sondern dieser Mörtel durch das Quellen der Magnesia weniger dicht ist als der Mörtel von gewöhnlichem Portlandcement, geht der durch die hohe Temperatur erzielte Vortheil des hohen specifischen Gewichtes beim Anmachen mit Wasser wieder verloren. Die Anwendung so hoher Temperatur ist demnach zwecklos, kann vielmehr die Ursache nachtheiliger Erscheinungen werden.

Auch Dr. Frühling[1]) spricht sich dahin aus, daß sich wohl aus hoch magnesiahaltenden Mineralien (Dolomit) Portlandcement darstellen läßt, wenn man die Beimischung der Silicate nur nach dem Kalkgehalte derselben normirt, die Magnesia also ganz unberücksichtigt läßt; aber diese Cemente sind immer von geringerem Werthe als die aus Kreide und Thon dargestellten.

In neuester Zeit ist auch versucht worden, den Kalk im Portlandcement theilweise oder ganz durch Barnterde zu ersetzen. Einen solchen Barytcement, der härter werden soll als irgend ein anderer, will A. Allain[2]) herstellen, indem er ein Gemisch von zwei Aequivalenten Kieselerde, ein Aequivalent

---

[1]) Notizblatt für Fabrikation von Ziegeln rc. 1875, S. 83.
[2]) Deutsche Ind.-Ztg. 1870, S. 79.

kieselsaure Thonerde und neun bis zehn Aequivalenten Calciumcarbonat im Flammofen brennt, dann mahlt, mit zwei bis drei Aequivalenten künstlichem Baryumcarbonat versetzt, nochmals im Flammofen brennt, und dann nochmals mahlt.

Jul. Aaron's [1]) Versuche bezweckten, den Kalk ganz durch Baryt zu ersetzen; hierzu veranlaßte ihn der Umstand, daß bei der Anwendung von Portlandcement für Meeresbauten ein nicht unbeträchtlicher Theil des Cementes, der zu den Betonschüttungen angewendet wird, in eine schlammartige Masse verwandelt wird, wodurch die Dauerhaftigkeit der Meeresbauten beeinflußt wird; eine größere Dauerhaftigkeit glaubte er nun durch Anwendung eines Barytcementes erzielen zu können.

Bei Mischungen von Baryterde und Thon, derart, daß auf 10 Säureäquivalente 20 bis 24 Barytäquivalente kommen, findet man innerhalb dieser Grenzen auch einen Punkt, in dem das erbrannte Product sich mit Wasser nicht mehr erwärmt, ein Zeichen, daß kein freier Aetzbaryt vorhanden ist, sondern eine vollkommene Silicatbildung; auch tritt eine sehr energische Wasserbindung und Erhärtung ein, indeß erhält sich letztere wohl an der Luft, nicht aber in Wasser. Das gebildete Hydrosilicat vermag einem Ueberschuß von Wasser keinen Widerstand zu leisten, es löst sich allmälig auf und bringt den Mörtel zum Zerfall. Diese Versuche ergaben, daß ein Barytcement sich wesentlich anders verhält als ein Kalkportlandcement, und daß ersterer allenfalls als Luftmörtel, nicht aber als Wassermörtel verwendbar ist.

Der Thon, ein Verwitterungsproduct verschiedener thonerdehaltiger, vorzugsweise der Feldspathgruppe angehörender Gesteine, findet sich in der Natur entweder auf der ursprünglichen Lagerstätte und besteht dann meistens nur aus kieselsaurer Thonerde, oder er ist von dort durch Gewässer fortgewaschen und an anderen Orten angeschwemmt worden; in letzterem Falle ist er dann mehr oder weniger mit fremdartigen Stoffen verunreinigt, wie Quarzsand, kohlensaurem Kalk, kohlensaurer Magnesia, Gyps, Schwefelkies, Eisenoxydhydrat ꝛc.

Für die Portlandcementfabrikation ist sowohl die chemische wie mechanische Zusammensetzung des Thones von Wichtigkeit. Der Thon soll auf der Schnittfläche sich als eine gleichartige Masse zeigen, in welcher keine fremden, gröberen Bestandtheile sich erkennen lassen und er soll auch eine genügende Plasticität besitzen, um das Formen von Steinen aus der Mischung zu gestatten.

Wie bereits beim Romancement bemerkt, so ist es von dem größten Einflusse, in welcher Form die mechanisch beigemischte Kieselsäure sich befindet, ob sie als feiner Staubsand oder als grober Streusand vorhanden ist; Thone, welche möglichst wenig Sand enthalten, werden sich immer besser zu Portlandcement eignen.

Was die chemische Zusammensetzung des Thones [2]) betrifft, so hat die Erfahrung gelehrt, daß feuerfeste Thone, die fast nur aus kieselsaurer Thonerde und

---

[1]) Notizblatt für Fabrikation von Ziegeln ꝛc. 1872, S. 293.

[2]) Bei Untersuchung der Materialien für Portlandcement auf ihre Zusammensetzung ist derselbe Gang einzuschlagen, welchen wir S. 92 für die Analyse der Mergel angegeben haben.

Quarz bestehen, selten mit gutem Erfolge bei der Portlandcementfabrikation verwendet werden können; die zur Cementfabrikation geeignetsten Thone enthalten weit mehr Kieselsäure als die eigentlichen Kaoline, deren Zusammensetzung von der normalen

SiO_2	39,96
Al_2O_3	44,46
Wasser	15,58

nicht allzusehr abweicht. Meistens kommen Thone zur Anwendung, welche leicht schmelzbar sind, welche Eigenschaft denselben durch das Eisenoxyd und durch die Alkalien in hohem Grade gegeben wird. Nach Dr. Frühling[1]) hat auch ein Magnesiagehalt unter Umständen einen besonderen Werth; den normalen Mischungen beigefügt, erhöht die Magnesia die Schmelzbarkeit der Masse, dieselbe darf aber 4 Proc. nicht übersteigen, indem bei Mehrbetrag wieder nachtheilige Wirkungen eintreten.

Als Anhaltspunkt für die Beurtheilung eines Thones mögen hier nachstehende Analysen von Thonen dienen, welche sich für die Fabrikation von Portlandcement erprobt haben. Sie sind auf den kohlensäure- und wasserfreien Zustand berechnet[2]).

	1.	2.	3.	4.	5.
Kieselsäure	60,06	59,25	60,00	62,48	68,45
Thonerde	17,79	23,12	22,22	20,00	11,64
Eisenoxyd	7,08	8,53	8,99	7,33	14,80
Kalk	9,92	—	4,18	6,30	0,75
Magnesia	1,89	2,80	1,60	1,16	—
Kali	2,50	1,87	1,49	1,74	1,90
Natron	0,73	1,60	0,72	0,37	2,10
Gyps	0,60	2,73	0,89	0,60	—

1. Thon aus der Provinz Sachsen, von der Elbe (Michaëlis).
2. Thon aus Vorpommern (Michaëlis).
3. Thon vom Oberharze (Michaëlis).
4. Thon aus der Mark Brandenburg (Michaëlis).
5. Medway-Thon (Feichtinger).

Zwei Thonsorten, welche sich am sogenannten „Hilsse". zu Vorwohle, in der Nähe von Holzminden, finden und dort ausgebeutet werden zur Fabrikation von Portlandcement, haben nachstehende Zusammensetzung (Knapp[3]):

[1]) Notizblatt für Fabrikation von Ziegeln rc. 1875, S. 83.
[2]) Michaëlis, Die hydraulischen Mörtel rc., S. 99.
[3]) Amtl. Bericht über die Wiener Weltausst. 1873, 3, 569.

	I.	II.
Kieselsäure	52,60	51,37
Thonerde	22,64	19,82
Eisenoxyd	8,38	12,36
Kalk	0,49	0,50
Magnesia	0,12	0,11
Kali, Natron	1,95	2,61
Wasser	12,60	11,79
Kohlensäure	—	0,52

In einigen Fabriken von Portlandcement werden statt Thon auch geeignete Mergel, bei einem Thongehalt bis zu 45 Proc., zum Mischen mit Kreide ꝛc. verwendet. Andere Fabriken arbeiten mit einem Kalkstein, der 8 bis 15 Proc. Silicate enthält (Kalkmergel) und vermischen diesen mit einem Thonmergel mit einem Silicatgehalte von 30 bis 40 Proc. Auch anderweitige Materialien sind in neuester Zeit versucht und hierzu mit Vortheil in Anwendung gebracht worden. So hat C. Dorn[1]) auf die Verwendbarkeit des schwäbischen bituminösen Liasschiefer als Material für Portlandcement hingewiesen und derselbe wird nach ihm bereits in Mannheim, Heidelberg ꝛc. zur Cementfabrikation angewendet. Nach Prof. Fittig hat dieser Liasschiefer nachstehende Zusammensetzung:

Wasser	0,72
Bitumen	10,92
Kieselsäure	31,65
Thonerde	4,43
Eisenoxyd	6,37
Kalk	23,93
Magnesia	1,72
Kali	1,18
Natron	3,67
Schwefelsäure	0,70
Kohlensäure	15,30
	100,59

Die näheren Bestandtheile dieses Schiefers sind hiernach:

Thon	ca. 41
Kalkstein	ca. 41
Organische Substanz	ca. 12
Schwefelkies	ca. 6
	100,00

Als Cementmaterial werden von H. Frühling[2]) auch die bituminösen Schiefer und Stückkalke empfohlen.

[1]) Dorn, Der Liasschiefer. Tübingen 1877, S. 42.
[2]) Frühling, Notizbl. d. Deutschen Vereins f. Fabr. v. Ziegeln ꝛc. 1870, S. 180.

Manche stark bituminöse Kalksteine lassen sich ohne allen Brennstoff in offenen Meilern brennen; in diesem Zustande, wo alles Bitumen zerstört, aber noch wenig oder gar keine Kohlensäure entwickelt ist, lassen sie sich dann leicht auf einem Kollergange fein mahlen. Finden sich solche Kalksteine in der Nähe von bituminösen thonigen Schiefern, so darf man beide nur in passendem Verhältnisse einem solchen vorläufigen Brande unterwerfen, worauf sie sich dann auf trockenem Wege aufs Innigste mischen lassen; ein solches Gemisch giebt dann bei abermaligem richtigem Brennen einen guten Portlandcement.

Nach Untersuchungen von C. A. M. Balling[1]) eignen sich auch manche Grünsteine zur Portlandcementfabrikation. Der von ihm verwendete Grünstein war ein Diabas von Drkolnov (Oesterreich) und enthielt:

Kohlensauren Kalk	2,60
Kohlensaure Magnesia	1,00
Eisenoxyd, Eisenoxydul mit wenig Thonerde	16,30
Silicate	79,25

Der zur Cementbereitung benutzte Kalkstein enthielt 97 Proc. kohlensauren Kalk und 3 Proc. kohlensaure Magnesia, Thonerde, Eisenoxyd und Kieselerde. Der Kalk wurde gebrannt, dann abgelöscht und in den dicken Kalkbrei der Diabas möglichst gleichförmig eingerührt; aus dem Gemenge wurden Kugeln geformt, diese getrocknet und endlich gebrannt.

Der beste Cement wurde erhalten, wenn man drei Gewichtstheile gebrannten Kalk mit zwei Gewichtstheilen Diabas mengte. Das fertige Product war in Folge seines größeren Eisengehaltes ziemlich dunkel gefärbt, erwärmte sich mit Wasser gar nicht, zog sehr bald an, brauchte indeß längere Zeit, um ganz zu erhärten. Balling glaubt, daß Trachyte und Phonolithe eben so gut verwendbar seien.

Dr. L. Erdmenger[2]) hat ebenfalls Versuche angestellt mit einem Diabas von folgender Zusammensetzung:

Kieselerde	46,1
Thonerde	16,4
Eisenoxyd	14,9
Kalk	9,0
Magnesia	6,6
Kali	0,8
Natron	3,7

Der Diabas mit Kalk gemengt und gebrannt, wirkte ganz bedeutend auf die Schmelzbarkeit; man konnte ganz außerordentlich an Coaks beim Brennen sparen. Um einen guten Cement zu erzeugen und möglichst bloßes Sintern zu sichern, also nicht ins eigentliche Schmelzfließen zu gerathen, war es geboten, recht kalkhoch zu bleiben. Die Cementfarbe war meist eine fahle, gelblichbräunliche. Die Festigkeit war eine befriedigende.

[1]) Balling, Chem. Centralbl. 1871, S. 602.
[2]) Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1880, S. 506.

Nach Erdmenger[1]) wird in einer russischen Fabrik dem Kalke Diorit zugesetzt; derselbe verhält sich ganz ähnlich wie der Diabas, er befördert in gleicher Weise das leichte Sintern und Schmelzen.

Von einigen Cementfabrikanten wird auch Flußspath als Zusatz zur Cementrohmasse verwendet. Dr. L. Erdmenger[2]) hat Versuche angestellt über die Wirkungsweise dieses Flußmittels, welche nachstehende Resultate ergaben. Was die Wirkungsweise im Ofen betrifft, ganz abgesehen vom Einfluß auf die Qualität des Cementes, so ist als wesentlich Folgendes hervorzuheben: Flußspath befördert, wie von diesem intensiven Flußmittel nicht anders zu erwarten ist, das Sintern oder richtiger Schmelzen des Cementes im Ofen. War der Cement ein leicht zum Zerfallen neigender, so verbessert das Flußmittel die Gleichartigkeit des Brandes, man erhält bessere, weniger Zerfallenes enthaltende Brände. Steigert man jedoch den Zusatz immer stärker und stärker, so führt der Flußspath auch seinerseits wieder Zerfallen herbei. Hat man daher schon vorher ohne Hülfe von Flußspath blanke, d. h. von Zerfallenem freie Brände gehabt, so erhält man nunmehr durch den Flußspathzusatz mehr Pulver.

Läßt man den Flußspath völlig schmelzend wirken, so resultirt der Cement, so weit er in Stücken vorhanden ist, als ein sehr festes Product. Bricht man jedoch mit dem Flußspathzusatz gleichmäßig am Feuermaterial ab und sucht nur möglichste Gleichartigkeit und bloße Sinterung zu erzielen, so wird der Cement mürber und kann dies das Zerkleinern erheblich erleichtern. Das Pulver hat nunmehr den Charakter von Abgerieseltem von den mürben Stücken und enthält nicht so wie sonst meist Zerfallenes das Zarte und specifisch Leichte, wie es eben bei spontanem Zerfallen der Fall ist. Es unterscheidet sich also der Flußspath dadurch von anderen Schmelzmitteln, wie Diabas, Diorit etc., daß man nicht durch verstärkten Zusatz die Oefen immer vollständiger zusammengebacken, bez. als einen einzigen zusammenhängenden Klumpen erhält, sondern es wird auch neben dem leichteren Sintern das Zerfallen befördert und die Masse mürber, welches Letztere ja oft erwünscht ist. Dieses Befördern des Zerfallens steht größeren Zusatzmengen hindernd im Wege. Bei Zusatz von 4 Proc. dürfte schon in den meisten Fällen im Großbetriebe viel Pulver bei den gewöhnlich vorhandenen Zugverhältnissen resultiren.

Wesentlich ist stets die möglichste Feinheit des Flußspathpulvers und die innigste Mischung mit der Rohmasse. Der Flußspath muß mindestens ein Sieb von 1600 Maschen per Quadratcentimeter passiren und ein vollständig homogenes Gemenge mit der Rohmasse bilden. Wird dieses vernachlässigt, so erhält man oft leicht Treiben, was aber dann nicht auf den Flußspath an sich, sondern auf die mangelhafte Vorarbeit bei Incorporirung desselben in die Masse zurückzuführen ist. An sich leicht vorzüglichen Cement ergebender Rohmasse noch Flußspath zusetzen zu wollen, hat keinen Zweck. Meist würde dies eher eine, wenn auch oft geringe Verschlechterung statt Verbesserung herbeiführen. Bei sehr mangelhaft sich aufschließender Rohmasse wirkt natürlich Flußspath oft auffallend verbessernd.

---

[1]) Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1880, S. 506.

[2]) Dr. L. Erdmenger: Thonind.-Ztg. 1882, S. 27 und 65.

Ueber den Einfluß auf die Qualität des Cementes fand Erdmenger Folgendes. Bis etwa 2 Proc. Zusatz von Flußspath war mit Ausnahme der etwas abweichenden Farbe [nach Michaëlis[1]) bildet sich bei 1 Proc. Flußspath ein verfärbter, durch Blaugrau zu Roth übergehender Cement] kein wesentlicher Unterschied gegen unversetzten Cement zu bemerken. Im Allgemeinen waren bei $^1/_2$ Proc. Zusatz die Festigkeiten am regelmäßigsten gute, also eher gleichmäßiger als bei ganz unversetztem und als bei höher versetztem. Bei höherem Flußspathzusatz blieben die Proben anfänglich mehr und mehr in der Festigkeit zurück, holten dieselbe jedoch bei richtigem Erbrennen später mehr und mehr nach.

Je höher der Zusatz, desto grauer und bläulicher fällt das Pulver in den meisten Fällen aus; bei immer noch höherer Steigerung der Zusätze wird auch schließlich die Festigkeit immer schwächer, ohne nunmehr auch bei späterer Erhärtung sich noch bis zu genügend befriedigender Höhe zu erheben.

Der Cementmischung wird oft auch calcinirte Soda beigegeben, welcher Zusatz bewirkt, daß die Masse leichter sintert und dadurch ein besserer Brand erhalten wird. Es ist nämlich bei leicht sinternder Masse die Coaksschlacke bedeutend weniger im Stande, die Cementrohmasse anzugreifen, als dieses bei schwerer sinternder Masse der Fall ist. Bei letzterer tritt die Schlacke mit den äußeren Massepartien in Schmelzung ein und erhöht ihren thonigen Gehalt an diesen Stellen so, daß zerfallende Massen resultiren. Die Rohmasse sollte so sein, daß sie beim Brennen schon anfängt zu fritten und zu sintern, noch ehe die Coaksschlacke energisch auf sie einwirken kann; die Masse ist dann früher schon sehr viel cohärenter, fester und nunmehr für die Einwirkung der Coaksschlacke nicht mehr frei und von derselben viel schwerer angreifbar. Wie wir später noch anführen werden, ist zur Erzielung eines möglichst günstigen Brennergebnisses zunächst auf recht aschenarme Coaks zu halten. Aber selbst bei reinstem Coaks muß einer schwerer sinternden Masse ein Flußmittel zugesetzt werden. Für den Großbetrieb ist Soda daher ein Ergänzungsmittel, wenn der Thon arm an Alkali ist; hierzu genügt schon 0,5 Proc. bei sonst möglichst feiner Zertheilung und guter Mischung. Die dem Cement charakteristischen Eigenschaften werden durch das Sinterungsmittel Soda nicht weiter berührt. Wenn auch Bindezeit und Farbe bei Masse mit Sinterungsmittel oft etwas anders ausfällt als bei Masse ohne solches, so ist der Cement jedoch dadurch meist weder schlechter noch besser geworden. Nur erhält man unter solcher Beihülfe bei schwer erbrennbarer Masse leichter die charakteristische grünliche Farbe des Cementes.

Eine andere günstige Wirkung des Alkali ist, daß es den Cement viel befähigter macht, das zur Erhärtung nöthige Wasser zurückzuhalten; es wirkt so vorschneller Austrocknung entgegen (Dr. Erdmenger[2]).

Portlandcement läßt sich aber nicht allein durch Mischen von Thon und Kalk auf künstliche Weise und darauf folgendes Brennen erzeugen, sondern es kann hierzu auch ein natürlich vorkommender Kalkstein (Mergel) benutzt werden, wenn er von einer solchen Beschaffenheit ist, daß er ohne Nachtheil

---

[1]) Notizbl. f. Fabrik. von Ziegeln &c. 1875, S. 232.
[2]) Dingl. pol. J. 218, 503.

bis zur Sinterung gebrannt werden kann; dieses ist, wie erwähnt, abhängig von dem Verhältniß zwischen Thon und Kalk und von der Zusammensetzung des Thones.

So wird seit ungefähr 25 Jahren in der Nähe von Kufstein in Perlmoos (Tyrol) aus einigen Schichten des dortigen der unteren Tertiärformation angehörenden großen Mergellagers Portlandcement bereitet; es war dieses der erste Fall, daß in den großen Mergellagern der Alpen ein Mergel gefunden wurde, der einfach durch Brennen bis zur Sinterung ein ebenso vorzügliches Product liefert, wie es bis dahin nur durch künstliche Mischung erhalten werden konnte. Es war auch zu vermuthen, daß noch an anderen Orten sich Mergel finden würden, welche zur Portlandcementfabrikation sich eignen, was auch Bestätigung gefunden hat, indem jetzt in der Nähe von Salzburg (Gartenau), in Oberkammerloh (Oberbayern), im bayerischen Allgäu (Hindelang), in der Bukowina ꝛc. Portlandcement aus dort vorkommenden Mergeln fabricirt wird.

Der Mergel von Perlmoos hat nach der Analyse von Feichtinger[1]) folgende Zusammensetzung:

In Salzsäure lösliche Bestandtheile.	Kohlensaurer Kalk . . .	70,64	
	Kohlensaure Bittererde . .	1,02	
	Eisenoxyd	2,58	
	Thonerde	2,86	
	Gyps	0,34	
	Wasser und organ. Substanz	0,79	= 78,23
In Salzsäure unlösliche Bestandtheile.	Kieselerde	15,92	
	Thonerde	3,08	
	Eisenoxyd	1,40	
	Kali	0,55	
	Natron	0,82	= 21,77

Die Menge des in Salzsäure unlöslichen Theiles, des sogenannten Thones, beträgt in diesem Mergel nur 21,7 Proc., während die meisten Mergel eine viel größere Menge Thon enthalten. Vergleicht man die chemische Zusammensetzung des Thones im Perlmooser Mergel mit dem Thone des Medway-Flusses, welcher in England zur Fabrikation von Portlandcement verwendet wird, so findet man darin auf 100 Thle. Kieselerde:

	Thon vom Perlmooser Mergel	Thon vom Medway-Flusse
Thonerde	19,34	17,0
Eisenoxyd	8,79	21,6
Kali	3,45	2,8
Natron	5,15	3,0
	36,73	44,0

[1]) Dingl. pol. J. 174, 433.

Man sieht hieraus, daß im Thone des Perlmooser Mergels die Kieselerde schon mit einer bedeutenden Menge von Basen verbunden ist; letztere betragen der Quantität nach nur um einige Procente weniger, wie im Thone des Medway-Flusses, aber immerhin mehr, als in den Mergeln sonst gefunden wird. Dadurch hat der Thon des Perlmooser Mergels auch die Eigenschaft, im Feuer leichter zu schmelzen, er kann leicht aufgeschlossen werden [1]).

2. Von der mechanischen Mischung der Rohmaterialien.

Da sowohl beim Brennen der Cementmischung als auch bei der Erhärtung des gebrannten Cementes der Erfolg vom richtigen Verlaufe chemischer Reactionen abhängig ist, so ist selbstverständlich, daß die angewendeten Materialien, Thon und Kalk ꝛc., vor dem Brennen in einem äußerst fein zertheilten Zustande aufs Innigste gemischt werden müssen.

Die für diesen Zweck angewendeten Verfahren sind nach der Natur der Rohmaterialien und deren allenfallsigen Vorbereitung verschieden; man unterscheidet in der Praxis drei Methoden:

1. das trockene Verfahren,
2. das halbnasse Verfahren,
3. das nasse Verfahren.

Das erstere, einfachste Verfahren besteht darin, die zur Fabrikation bestimmten Rohmaterialien, und zwar in der Regel jedes für sich, in ein trockenes Pulver zu verwandeln, und dieselben unter Hinzufügung einer solchen Menge Wasser, daß ein leicht zu bearbeitender Teig entsteht, durch Kneten, Schneiden oder Schlagen sorgfältig zu vermischen.

Mergelerden, Süßwasserkalke (Wiesenkalk) können, wenn sie durch wiederholtes Ausfrieren vollständig zerkleinert und sodann getrocknet sind, in diesem Zustande sogleich zur Mischung mit dem Thon angewendet werden. Feste Kalksteine und die härteren Kreidesorten trocknet man in Flammöfen und zerkleinert sie zuerst auf Quetschwalzen oder Steinbrechmaschinen und mahlt sie auf Kollerwerken oder auf Mahlgängen zu Pulver.

Die Thone erfordern ihrer weichen, wenig zähen Beschaffenheit gemäß nur geringen Kraftaufwand, um in ein feines Pulver verwandelt zu werden; jedoch ist es nothwendig, daß sie vorher vollständig ausgetrocknet werden, was durch trockene Zugluft und durch Sonnenwärme, meist jedoch mit Hülfe von künstlicher Wärme (Darren) erreicht wird. Die weicheren Kreidesorten verhalten sich den Thonen fast durchaus gleich. Je trockener das Material ist, um so leichter und vollkommener geht das Pulverisiren von statten; schon ein sehr geringer Grad von Feuchtigkeit bedingt eine diese Arbeit bedeutend erschwerende Zähigkeit, da schon getrennte Theilchen durch einen starken Druck von Neuem zusammenbacken, sich den Maschinentheilen anhängen, die Siebe verstopfen ꝛc. Der getrocknete Thon und die weichere Kreide werden dann ebenfalls auf Kollergängen, Mahl-

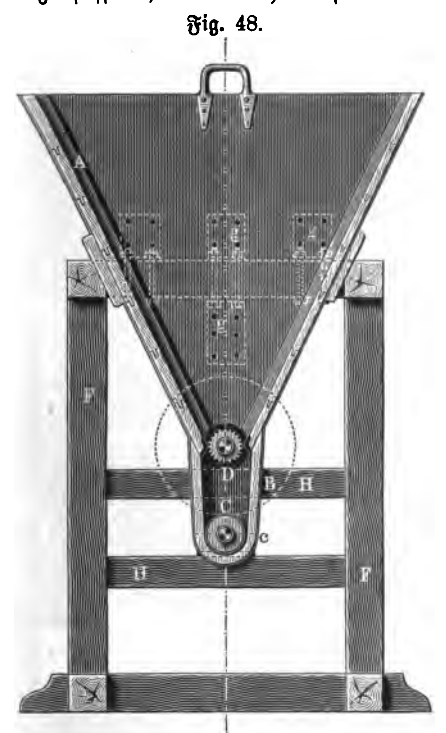
---

[1]) Aigner, Dingl. pol. J. 215, 420.

ngen ꝛc. zu feinem Pulver vermahlen. Zuweilen giebt man auch abgemessene uantitäten Kalk- und Thonstücke zugleich auf die Zerkleinerungsmaschinen und carbeitet beide Materialien zu Mehl. Wenn auch hierbei sogleich eine Ver- :schung erzielt wird, so ist doch der Methode der Vorzug zu geben, nach welcher ›es Material für sich gepulvert wird, weil dieses Verfahren weit mehr eine htige procentische Zusammensetzung sichert.

Von den Zerkleinerungsapparaten kommend hat das Pulver Siebvorrich- ngen zu passiren, die den Cylindersieben in Mahlmühlen in ihrer Construction genau entsprechen, nur anstatt mit Seidengaze mit Drahtgeweben beschlagen sind. Das verwendete Gewebe muß bei den leichteren Materialien, wie Mergelerde, Kreide, Thon, mindestens 360 Maschen, bei den aus festeren Kalksteinen und Mergeln gewonnenen Pulvern etwa 500 Maschen per Quadratcentimeter enthalten.

Fig. 48.



Die in Form trockener Pulver erhaltenen Materialien werden in eigens dazu angefertigten, bestimmte Gewichtsmengen fassenden Gefäßen, deren Inhalt täglich drei- bis viermal durch Abwägen controlirt wird, abgemessen und dabei das Gewicht der zu mischenden Rohstoffe stets auf den bei etwa 100° ermittelten Trockengehalt derselben bezogen.

Die genau abgemessenen Mengen Kalk und Thon werden in einem gegen Wind geschützten Orte in der Nähe der Mischmaschinen so aufgeschüttet, daß mmer auf jedes abgemessene Volumen Kalk die nöthige Menge Thon geschüttet ınd durch Handarbeit (mit Hacke oder Rechen) sofort untergemischt wird. Sind :uf diese Weise in drei- bis vierfacher Lage Haufen von ca. 8 m Länge und ł m Breite vorgemischt, so werden diese mit der Schaufel umgestochen.

Für eine innigere Mischung empfiehlt es sich auch, die pulverisirten Mate- :ialien in den entsprechenden Maßverhältnissen zusammen durch einen rotirenden Holz- oder Blechcylinder laufen zu lassen, dessen Wände mit Blechschaufeln ver- ehen sind, die auf einer gestreckten Schraubenlinie stehen, **Frühling** [1]).

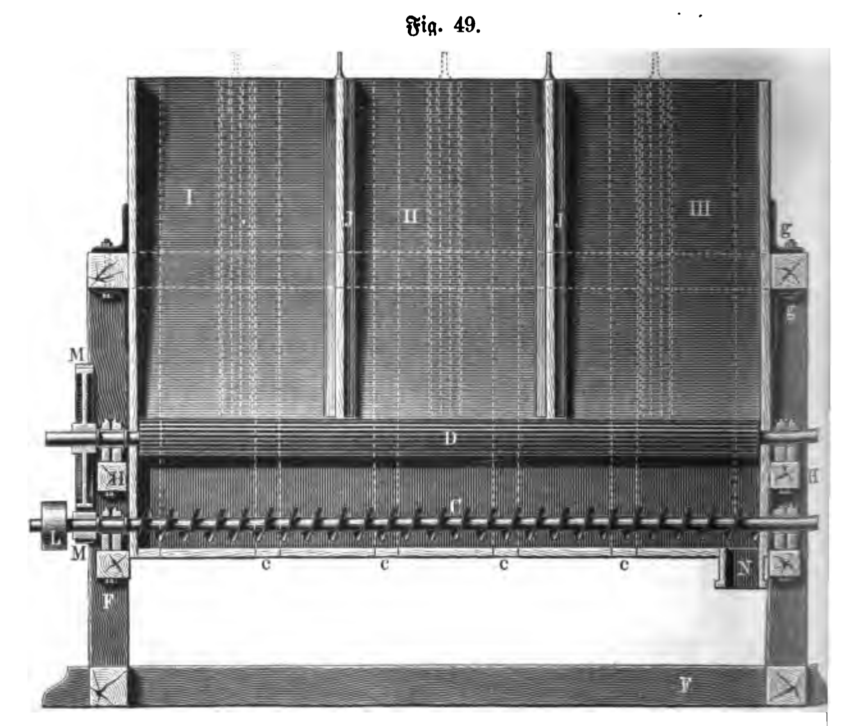
---

[1]) Notizbl. des Vereins f. Fabrik. v. Ziegeln ꝛc. 1870, S. 190.

Sehr vortheilhaft kann für eine innige Mischung die von Christian Diener in Breslau und Dr. L. Erdmenger in Misburg bei Hannover construirte Mischmaschine für pulverförmige Körper (D. R.-P. Nr. 20269 vom 9. April 1882) angewandt werden.

Diese Mischmaschine (Fig. 48, a. v. S., bis 51) besteht aus dem Holzkasten oder Rumpf *A*, dem Schneckentrog *B*, der Schnecke *C* und der Walze *D*. Der Schneckentrog *B* ist durch Flacheisen *c* mit dem Rumpfe *A* fest verschraubt. Die Anordnung der Walze *D* ist aus Fig. 51 und die Anordnung der Transport-schnecke *C* aus Fig. 48 u. 49 ersichtlich. Der so zusammengesetzte Kasten ruht in

Fig. 49.

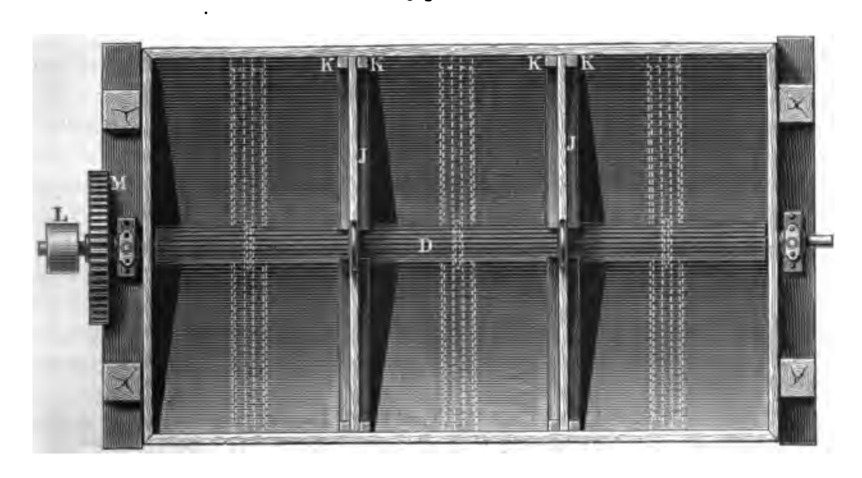


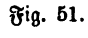
Gestell *F* und ist durch die Winkel *g g* mit diesem an seinen Stirnwänden oben fest verbunden und legt sich unten gegen die Querriegel *HH*..., welche letztere gleichzeitig die Lager für Walze und Schnecke aufnehmen. Der Rumpf wird durch drei, erforderlichenfalls durch eine beliebige Anzahl Scheidewände *JJ*... je nach dem Mischungsverhältniß abgetheilt. Die Scheidewände sind mit Hand-griffen versehen und werden zwischen die angeschraubten Leisten *KK* nach Be-dürfniß von oben eingeschoben.

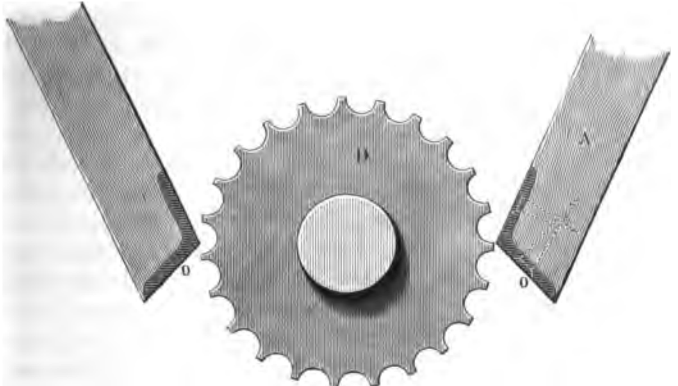
Die Maschine erhält ihren Antrieb durch die auf der Schneckenwelle sitzende Riemenscheibe *L* und die beiden Zahnräder *MM*. Der Zwischenraum zwischen der rotirenden Walze *D* und dem am Rumpf *A* angeschraubten Winkeleisen *o* ist möglichst klein, je nach dem zu mengenden Gute zu wählen.

Durch die Walze *D* wird vermöge ihrer Riffelung das im Rumpf *A* aufgeschüttete Gut, welches von verschiedener Gattung *I, II, III* ꝛc. sein kann, gleichmäßig abgeschnitten und in den Schneckentrog *B* ausgeleert. Die Schnecke transportirt diese ihr zugeführten Theile nach dem Auslauf *N*, während auf

Fig. 50.




Fig. 51.



diesem Wege ihr stets neue Theile in gleichem Verhältniß zugeführt werden und so eine innige Vermengung des Gutes herbeigeführt wird.

Soll z. B. eine Mischung von drei Gattungen in gleichem Verhältniß vorgenommen werden, so sind die Scheidewände *JJ* in gleichen Zwischenräumen einzusetzen, darauf das Gut aufzuschütten und die Maschine in Betrieb zu setzen. Es werden nun die Vertiefungen der Walze *D* von allen drei Gattungen gleichmäßig gefüllt und entleeren sich durch die Drehung der Walze nach unten in die Schnecke. Das bei der Abtheilung *II* abgeschnittene Gut wird durch die Schnecke

Quarz bestehen, selten mit gutem Erfolge bei der Portlandcementfabrikation verwendet werden können; die zur Cementfabrikation geeignetsten Thone enthalten weit mehr Kieselsäure als die eigentlichen Kaoline, deren Zusammensetzung von der normalen

SiO_2	39,96
Al_2O_3	44,46
Wasser	15,58

nicht allzusehr abweicht. Meistens kommen Thone zur Anwendung, welche leicht schmelzbar sind, welche Eigenschaft denselben durch das Eisenoxyd und durch die Alkalien in hohem Grade gegeben wird. Nach Dr. Frühling[1]) hat auch ein Magnesiagehalt unter Umständen einen besonderen Werth; den normalen Mischungen beigefügt, erhöht die Magnesia die Schmelzbarkeit der Masse, dieselbe darf aber 4 Proc. nicht übersteigen, indem bei Mehrbetrag wieder nachtheilige Wirkungen eintreten.

Als Anhaltspunkt für die Beurtheilung eines Thones mögen hier nachstehende Analysen von Thonen dienen, welche sich für die Fabrikation von Portlandcement erprobt haben. Sie sind auf den kohlensäure- und wasserfreien Zustand berechnet[2]).

	1.	2.	3.	4.	5.
Kieselsäure	60,06	59,25	60,00	62,48	68,45
Thonerde	17,79	23,12	22,22	20,00	11,64
Eisenoxyd	7,08	8,53	8,99	7,33	14,80
Kalk	9,92	—	4,18	6,30	0,75
Magnesia	1,89	2,80	1,60	1,16	—
Kali	2,50	1,87	1,49	1,74	1,90
Natron	0,73	1,60	0,72	0,37	2,10
Gyps	0,60	2,73	0,89	0,60	—

1. Thon aus der Provinz Sachsen, von der Elbe (Michaëlis).
2. Thon aus Vorpommern (Michaëlis).
3. Thon vom Oberharze (Michaëlis).
4. Thon aus der Mark Brandenburg (Michaëlis).
5. Medway-Thon (Feichtinger).

Zwei Thonsorten, welche sich am sogenannten „Hilsse“ zu Vorwohle, in der Nähe von Holzminden, finden und dort ausgebeutet werden zur Fabrikation von Portlandcement, haben nachstehende Zusammensetzung (Knapp[3]):

[1]) Notizblatt für Fabrikation von Ziegeln ꝛc. 1875, S. 83.
[2]) Michaëlis, Die hydraulischen Mörtel ꝛc., S. 99.
[3]) Amtl. Bericht über die Wiener Weltausst. 1873, 3, 569.

	I.	II.
Kieselsäure	52,60	51,37
Thonerde	22,64	19,82
Eisenoxyd	8,38	12,36
Kalk.	0,49	0,50
Magnesia	0,12	0,11
Kali } Natron }	1,95	2,61
Wasser	12,60	11,79
Kohlensäure	—	0,52

In einigen Fabriken von Portlandcement werden statt Thon auch geeignete Mergel, bei einem Thongehalt bis zu 45 Proc., zum Mischen mit Kreide etc. verwendet. Andere Fabriken arbeiten mit einem Kalkstein, der 8 bis 15 Proc. Silicate enthält (Kalkmergel) und vermischen diesen mit einem Thonmergel mit einem Silicatgehalte von 30 bis 40 Proc. Auch anderweitige Materialien sind in neuester Zeit versucht und hierzu mit Vortheil in Anwendung gebracht worden. So hat C. Dorn[1]) auf die Verwendbarkeit des schwäbischen bituminösen Liasschiefer als Material für Portlandcement hingewiesen und derselbe wird nach ihm bereits in Mannheim, Heidelberg etc. zur Cementfabrikation angewendet. Nach Prof. Fittig hat dieser Liasschiefer nachstehende Zusammensetzung:

Wasser.	0,72
Bitumen	10,92
Kieselsäure	31,65
Thonerde	4,43
Eisenoxyd	6,37
Kalk	23,93
Magnesia	1,72
Kali	1,18
Natron	3,67
Schwefelsäure.	0,70
Kohlensäure	15,30
	100,59

Die näheren Bestandtheile dieses Schiefers sind hiernach:

Thon	ca. 41
Kalkstein	ca. 41
Organische Substanz	ca. 12
Schwefelkies	ca. 6
	100,00

Als Cementmaterial werden von H. Frühling[2]) auch die bituminösen Schiefer und Stückkalke empfohlen.

[1]) Dorn, Der Liasschiefer. Tübingen 1877, S. 42.
[2]) Frühling, Notizbl. d. Deutschen Vereins f. Fabr. v. Ziegeln etc. 1870, S. 180.

Rest des überschüssigen Wassers muß an der Luft verdunstet und von den Backsteinen des Bassins absorbirt werden, damit dann die geschlämmte Masse die für ihre weitere Verarbeitung geeignete Consistenz erlangt.

Dem so erhaltenen Kalkbrei wird dann der gepulverte Thon beigemischt: zuvor muß aber der Trockengehalt des Kalkbreies bestimmt werden, damit man die dazu erforderliche Quantität Thon kennen lernt. Durch den hinzugefügten trockenen Thon wird die Masse zähe, und die innige Mischung derselben wird wie bei dem trockenen Verfahren durch Thonschneidemaschinen erzielt.

Der Trockengehalt des Kalkbreies wird in der Praxis dadurch ermittelt, daß man 100 g in einem Porcellanschälchen abwägt und in demselben über freiem Feuer bei mäßiger Flamme unter fleißigem Umrühren so lange erhitzt, bis die Masse staubig trocken geworden ist. Das nach dem Erkalten erhaltene Gewicht giebt direct den Trockengehalt in Procenten an.

Das halbnasse Verfahren kann auch in der Weise zur Anwendung kommen, daß man den Thon im geschlämmten und den Kalk im pulverförmigen Zustande verarbeitet.

Das nasse Verfahren. Hierbei werden beide Materialien, der Kalk und der Thon, durch den Schlämmproceß, welchem sie in den erforderlichen Proportionen mit einander unterworfen werden, auf das Feinste zertheilt und auf das Innigste vermischt. Obwohl bei diesem Verfahren eine sehr innige Mischung der Materialien und bis zu einem gewissen Grade eine Befreiung derselben von fremden Beimengungen erzielt wird, so hat dasselbe doch seine großen Schattenseiten, indem bei Rohmaterialien mit einigermaßen verschiedenem specifischem Gewichte sich der Schlamm nicht gleichmäßig absetzt, sondern die einzelnen Bestandtheile ihrer Schwere nach in mehr oder weniger getrennten Schichten sich ablagern, welche die innige Mischung wieder aufheben. Um dies zu verhindern, muß der Schlamm außer dem häufigen Verlegen der Ausgußöffnungen der Rinnen, in den Gruben möglichst vollständig mittelst Rechen und Eggen durchgearbeitet und nach dem Abtrocknen behufs weiterer Verarbeitung im Thonschneider einer nochmaligen Durchmischung unterzogen werden. Das nasse Verfahren ist daher nur da am Platze, wo man es mit Rohmaterialien zu thun hat, welche von ganz oder sehr nahe gleichem specifischem Gewichte und frei von Sand sind, denn nur solche können in den Absitzbassins gleichmäßig sedimentiren.

Je nachdem durch das rasch oder langsam gehende Schlämmwerk, durch versandete, bald mehr oder weniger gereinigte Rinnen 2c. mehr oder weniger Bestandtheile mit dem Schlamme ausgeschieden werden, schwankt die Zusammensetzung eines Schlammbassininhaltes, und es muß demgemäß täglich das Product einer Tagesarbeit einer chemischen Untersuchung unterstellt und nach dem Befunde derselben entweder eine bestimmte Menge Kalk oder Thon nachgeschlämmt oder dieser Zusatz in Form von trockenem Pulver bei den Nachmischungen zugegeben werden.

Zur Erzeugung eines vorzüglichen Portlandcementes ist auch erforderlich, daß beide Rohmaterialien, Thon und Kalk, in einem ganz bestimmten ziemlich eng begrenzten Verhältniß gemischt werden.

Aus einer großen Anzahl von Analysen anerkannt vorzüglicher Portlandcemente hat Michaëlis[1]) für die wesentlichen Factoren, Kieselerde, Thonerde, Eisenoxyd und Kalk gefunden, daß Thon und Kalk in solchen Mengen gemischt sein müssen, daß im gebrannten Portlandcement auf 80 Aeq. Kieselerde

210 bis 230 Aeq. Kalkerde und
15 „ 25 „ Thonerde und Eisenoxyd

kommen. Setzt man dann die Kieselsäure und die Sesquioxyde (als Säuren) dem Kalk gegenüber, so ergeben sich hierfür die Ausdrücke:

$$100\,(SiO_2, R_2O_3), 200\,CaO$$

und

$$100\,(SiO_2, R_2O_3), 240\,CaO.$$

In einer sehr ausgedehnten Versuchsreihe, bei welcher die Menge des Kalkes innerhalb dieser Grenzen schwankte, fand Michaëlis:

1. daß unterhalb 200 Zerfallen, über 240 Treiben eintritt;
2. daß es vortheilhaft ist, nicht unter 220 zu gehen, weil ein möglichst hoher Kalkgehalt, innerhalb der zulässigen Grenze, in jeder Beziehung vorzüglicheren Cement bedingt;
3. daß man der Grenze 240 um so näher kommen darf, je inniger die Mischung ist.

Der Formel $100\,(SiO_2, R_2O_3), 220\,CaO$ entspricht eine procentische Zusammensetzung von

Kalkerde	60,14
Kieselsäure	24,46
Thonerde.	6,59
Eisenoxyd.	2,92
Kali, Natron ꝛc.	Rest

Dr. Erdmenger[2]) fand aus Analysen zweier vorzüglicher Sorten Portlandcement, daß das Verhältniß der Säurebestandtheile (Kieselsäure, Thonerde und Eisenoxyd) zum Kalke ist im Mittel 1 : 1,90, was mit Michaëlis Berechnung übereinstimmt. Hat man daher ganz reinen kohlensauren Kalk vor sich, so würde nach obigem Verhältnisse die nöthige Thonmenge auf jeden Centner kohlensauren Kalk, $29\frac{1}{2}$ oder rund 30 Pfund betragen, da je ein Centner reiner kohlensaurer Kalk 56 Thle. Aetzkalk liefert; es entsteht mithin das Mischungsverhältniß von 30 : 100. Also mehr Thon als $^3/_{10}$ des Gewichtes vom kohlensauren Kalk wird man auch bei den reinsten Kalksorten nicht zu geben brauchen.

Das angegebene Mischungsverhältniß unterliegt selbstverständlich Schwankungen, je nachdem das Rohmaterial Einschlüsse des anderen in größerer oder geringerer Menge schon enthält; wenn z. B. ein Kalkstein Thon enthält, so wird ein geringerer Thonzusatz nothwendig sein. Auch ist zu beachten, daß die Rohmaterialien, namentlich der Thon, in dem zur Verwendung kommenden Zustande Wasser enthält; dieser Wassergehalt, der oft großen Wechseln unterworfen ist,

---

[1]) Michaëlis, a. a. O., S. 215.
[2]) Dingl. pol. J. 216, 72.

muß jedesmal oder doch in nicht zu langen Zwischenzeiten nach richtigen Durchschnittsproben festgestellt werden.

Zu bemerken ist, daß in den Cementfabriken das Mischungsverhältniß von Thon und Kalk innerhalb gewisser Grenzen abweicht, je nachdem man einen mehr oder weniger schnell bindenden Cement darstellen wird. So giebt ein höherer Kalkgehalt einen schweren, langsam, aber vorzüglich erhärtenden Cement; ein geringerer Kalk- und höherer Thongehalt hingegen erzeugt ein prompteres Binden.

Das Formen der Steine. Die auf irgend eine der drei vorher beschriebenen Weisen erhaltene Mischung von Thon und Kalk ist von solcher Consistenz, daß sie mit Leichtigkeit geformt werden kann (streichrecht), oder sie ist wenigstens so weit eingetrocknet, daß sie es durch einen mäßigen Zusatz von zuvor getrockneter und zerkleinerter Mischung wird. Behufs der weiteren Verarbeitung wird die Masse nun in Back- (Ziegel-) steinform gebracht, was in der Praxis auf zweierlei Weise geschieht. Entweder sie wird nach Art gewöhnlicher Ziegelerde mittelst Handarbeit zu Steinen gestrichen, oder die Masse wird aus einem Mundstücke des Mischapparates als Strang hervorgetrieben, auf einem Rolltische fortgeführt und durch eine sehr einfache Vorrichtung, einen mit Drähten bespannten Bügel, in Ziegelsteingröße zerschnitten.

Das Streichen der Steine geschieht an dem Orte, wo letztere zum Trocknen abgesetzt werden sollen; hierzu bedient man sich einer vierfachen Form von solcher Größe, daß jeder Stein etwa 26 × 12 × 55 cm hat, mit welcher ein geübter Arbeiter in 10 Arbeitsstunden bis zu 7000 Steinen anfertigen und zugleich an dem Platze, wo sie trocknen sollen, niederlegen kann.

In vielen Fabriken werden die als Schneckenpressen construirten Ziegelmaschinen (System Schlickeysen) zum Formen der Cementsteine mit einer Tagesleistung bis zu 50000 Steinen benutzt. Dieselben können auch gleichzeitig als Mischmaschinen dienen, so daß bei Anwendung derselben zu gehöriger Vorbereitung des Materials eine einfache Vormischmaschine genügt.

Zuweilen wird der beim Schlämmverfahren erhaltene nasse, steife Schlamm auch direct auf die Darren zum Trocknen gebracht, so daß dann die Cementmasse in Form von unregelmäßigen Brocken in den Ofen gelangt.

Die Güte des zu erbrennenden Cementes steht in einem gewissen Verhältnisse zu der Dichtigkeit der Masse vor dem Brennen, und der Cement fällt daher, unter sonst gleichen Umständen, um so besser aus, je dichter derselbe ungebrannt ist. Es verdienen daher die mit der Maschine geformten Steine unbedingt den Vorzug vor den durch Handstreicherei erzeugten, weil die Maschinensteine sowohl ihres weit geringeren Wassergehaltes, als auch der erlittenen Pressung in der Maschine wegen, ein ungleich dichteres und im Allgemeinen wohl ebenso schnell trocknendes Material liefern.

Mit großem Vortheil verwendet man in neuester Zeit auch die Trockenpressen und bildet unter starkem Druck aus der Cementrohmasse Steine. Die dadurch erzeugten Steine sind außerordentlich dicht, sie sind aber auch dem Schwinden in Feuer, wenn auch in etwas geringerem Grade ebenso ausgesetzt, als die mittelst Handstrich oder Naßpressen erzeugten Steine.

Ein großer Vortheil des Trockenpressens besteht darin, daß das Austrocknen erspart wird, die Steine können unmittelbar von der Presse weg in den Ofen eingesetzt werden. Dadurch erwachsen dem Fabrikanten Vortheile, indem er die sämmtlichen Trockenräume erspart, auch wird der Fabrikationsturnus verkürzt und jene Arbeiter erspart, die man sonst für Auf- und Umschichtung ꝛc. der nassen Steine nöthig hat. Von Wichtigkeit ist der Wassergehalt der Trockenmasse. Ist der Wassergehalt zu gering, so ergiebt sich ein schlecht zusammenhängender, in Folge der durch Wasser nicht verdrängten Luft, leicht rissig werdender Stein, welcher häufig nur außen eine feste Rinde bildet, die im Ofen durch die Ausdehnung der Luft zu Staub zerfällt. Zu feucht gehaltene Mischung klebt wieder leicht in den Formen und giebt sehr schwer ihr überschüssiges Wasser ab, im Feuer zerfallen solche Steine. Ist jedoch der Feuchtigkeitsgehalt der richtige, so zeigen sich diese Erscheinungen nicht. Das Gelingen der Trockenpressung hängt daher von der Herstellung und Beherrschung der richtigen Feuchtigkeit und Plasticität bei dem richtigen Drucke ab.

Außerdem ist aber noch der Punkt zu berücksichtigen, daß sich nicht jede Cementmasse für das Trockenpressen eignet; daher hat sich dieses Verfahren nicht überall bewährt; es liegt dieses hauptsächlich in der größeren oder geringeren Plasticität der Masse. Gedarrte Rohmasse wird weit weniger plastisch, als lufttrocken aufbereitete. Hauenschild [1]).

Das Trocknen der mittelst Handstrich oder Naßpressen erzeugten Cementsteine geschieht theils auf freien, der Luft und Sonne zugänglichen Plätzen, ist aber dann von der Witterung abhängig, theils in Trockenschuppen, in welchen die Steine zwar auch noch von der Luft getrocknet werden, aber vor Regen gänzlich geschützt sind, oder besser und in kürzerer Zeit in Trockenräumen durch künstliche Wärme.

Beim Trocknen der Steine auf freien Plätzen auf ebener Erde ist zu sorgen, daß dieselben nicht mit Sand in Berührung kommen, da derselbe, den nassen Steinen sich eindrückend, so fest eintrocknet, daß ein sehr großer Theil davon mit in den Ofen gelangt, wodurch die Zusammensetzung der angrenzenden Partien verändert wird.

Die Apparate zum Trocknen mittelst künstlicher Wärme sollten folgenden Anforderungen genügen: 1. Möglichst hoher Verdampfungseffect, wenn irgend angänglich, durch Benutzung der in der Fabrikation sonst doch verloren gehenden Wärme und 2. Billigkeit der Arbeit, so daß die Steine von der Ziegelmaschine möglichst gleich, ohne weiter in die Hand genommen zu werden, in den Brennofen gebracht werden können. Von selbständigen Trockenanlagen verwendet man bis jetzt meistens: 1. Darren mit vorgelegten Coaksöfen; bei diesen wird die bei der Bereitung des Coaks sonst nutzlos verloren gehende Wärme ausgenutzt, und 2. Trockenkammern mit directer Feuerung [2]).

Die Verwendung der Coaksöfen erfordert eine gut backende Kohle, die Trockenkammern hingegen gestatten die Verwendung jedes Brennmaterials. Aber

---

[1]) Notizbl. f. Fabrik. v. Ziegeln ꝛc. 1878, S. 136. Erdmenger, Thonind.-Ztg. 1880, S. 276.

[2]) A. Bernoully, Thonind.-Ztg. 1881, S. 170.

auch das Material, welches zu trocknen ist, wirkt bestimmend; denn die Trockenkammern erfordern einen ziemlich fest gearbeiteten Stein, der durch die ihn direct treffende Hitze nicht zu sehr schwindet und angegriffen wird, während die Darren es gestatten, ein weicheres Material zu verarbeiten, also für Fabriken verwendbar sind, die das Schlämmverfahren benutzen. Eine wesentliche Ersparniß an Arbeitslohn wird bei den letzteren dadurch erzielt, daß man die Schlämmmasse direct auf die Darrfläche bringt. Man braucht sie dort nur leicht zu stückeln, und versetzt sie dann direct in den Ofen.

Dem Trockenofen haftet dagegen sehr viel unangenehme Handarbeit an, besonders ist das Ein- und Aussetzen der Steine in den heißen Kammern keine leichte Arbeit. Man hat Kammern von 500 bis 10000 Steinen Fassung; bei größeren Kammern macht sich als Uebelstand bemerkbar, daß die dem Feuer nahe liegenden Steine verhältnißmäßig mehr angegriffen werden und zu rasch trocknen.

Was die Darren betrifft, so können diese wegen der größeren Abkühlungsfläche, die sie darbieten, nicht denselben Verdampfungseffect besitzen, wie die Trockenkammern, aber dieselben ergeben eine wesentliche Ersparniß an Arbeitslohn. Eine wesentliche Aufmerksamkeit ist ferner auf die Ventilation der Darren zu verwenden, damit der Wasserdampf leicht abziehen kann.

Von Kämp und Schott in Heidelberg ist ein Trockenofen construirt worden [1]) (D. R.-P. Nr. 4727 vom 27. August 1878), an welchem die Neuheit darin besteht, daß die zu trocknenden Cementsteine unmittelbar den Heizgasen exponirt und der Richtung der Heizgase direct entgegengeführt werden. Während die Heizgase im Trockenofen vertical aufsteigen, werden die zu trocknenden Steine oben, auf eigens construirten Wagen hängend, in den Ofen eingeführt und nachdem sie mehr oder weniger gesenkt, dem Feuerherde also genähert wurden, am unteren Theile des Ofens in getrocknetem Zustande abgeführt. Jeder einzelne Ofen erhält entweder seinen eigenen Rost, die Bauart des Ofens gestattet aber ohne Nachtheil die Verwendung der Heizgase vom Cementofen oder eine Heizung mit Generatorgasen. Die Wasserdämpfe werden durch einen kräftig wirkenden Schornstein abgezogen.

Beim Bock'schen Trockenofen ist der Trockencanal horizontal angelegt, auf 20 bis 30 m Länge, und bewegt sich in ihm ein Wagenzug von 15 bis 20 Wagen, ganz ähnlich den Wagen, die die Steine von den Pressen abfahren. Geheizt wird der Trockenofen durch ein unterliegendes System von Heizröhren, in denen sich Wasserdampf oder heiße Luft bewegt.

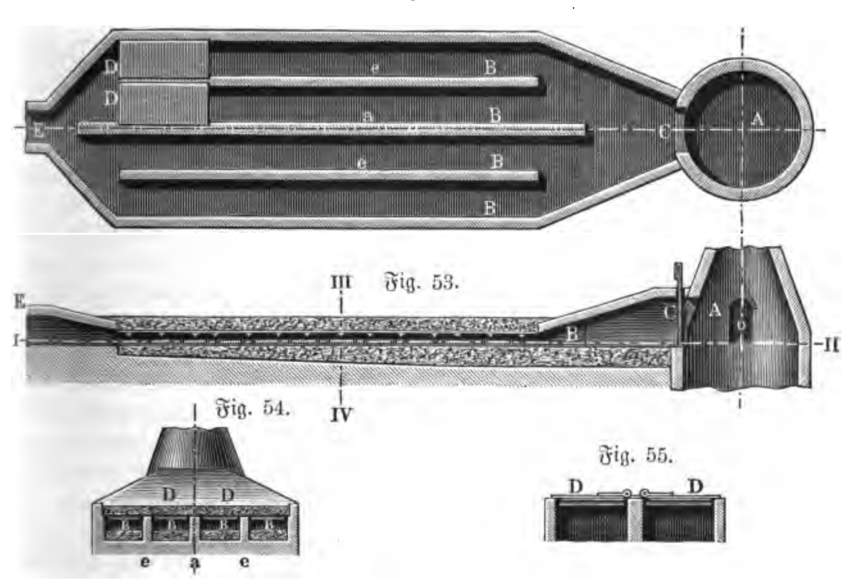
So leistungsfähig die Trockenöfen mit directer Feuerung sind, so genügen sie doch nicht der Forderung, welche man in erster Linie stellen muß, daß die bei der Fabrikation des Portlandcementes verloren gehende Wärme nutzbar gemacht werde. Wie wir später sehen werden, ist dieses der Fall beim Ringofen, welcher das Trocknen und das Brennen der Steine zu gleicher Zeit ermöglicht; außerdem kann beim Ringofen noch ein recht bedeutender, sonst verloren gehender Theil der Wärme durch Trockengerüste für Steine, welche man um den Ofen herumsetzt, verwerthet werden. Wenn die Ausnutzung der Wärme auch bei Schachtöfen mehr Schwierig-

---

[1]) Dingl. pol. J. 235, 290.

keiten hat, so ist sie doch in neuerer Zeit schon mit großem Erfolge versucht worden. Eine derartige Einrichtung wird nach Bernoully[1]) in der Fabrik von White Brothers in England angewendet und besteht darin: Eine Reihe von 16 verhältnißmäßig kleinen Oefen ist in einen großen Block zusammengebaut. Die Oefen sind 4 m hoch und haben 3 m Durchmesser mit zwei Einsatzöffnungen, die eine in der Mitte, die andere in der Nähe des Gewölbes. Die Oefen sind überwölbt. Die Gase ziehen durch einen horizontalen Canal, der in der Höhe des oberen Theiles des Ofens liegt, so daß also die Gase nicht gedrückt werden. Der Gascanal ist mit Fliesen überdeckt, und liegt auf ihm die zu trocknende Cementmasse. An dem hinteren Ende des ca. 25 m langen Canals wenden die Gase um und gehen noch einmal über die Darrfläche zurück, die zu

Fig. 52.



diesem Zwecke ein zweites Mal mit einer Lage eiserner Platten überdeckt ist. Auf denselben ist gleichfalls eine Schicht Schlämmmasse ausgebreitet, und wird die in den Brenngasen enthaltene Wärme so vollends ausgenutzt. So trocknet ein jeder Brand sich selbst die Masse für den folgenden Ofen. Eine Maschine pumpt die Schlämmmasse direct von der Schlämme so dickflüssig als möglich auf die Darrflächen.

Ganz ähnlich ist der Trockenapparat zum Trocknen des beim nassen Mischverfahren erhaltenen Cementschlammes von D. Wilson zu Grays (Essex), dessen Einrichtung aus den Figuren 52 bis 55 ersichtlich ist[2]).

---

[1]) Thonind.-Ztg. 1881, S. 171.
[2]) Dingl. pol. J. 235, 290.

Die im Cementschachtofen A aufsteigenden Gase können durch Schließung einer Deckelklappe und Oeffnung des Schiebers C gezwungen werden, in der Höhe der oberen Beschickungsöffnung o seitlich durch die vier Canäle B in den zum Schornstein führenden Fuchs E abzuziehen. Die durch die drei Zwischenwände a und e gebildeten vier Canäle sind mit durch aufgenietete Winkeleisen verstärkte Eisenblechplatten D bedeckt, welche, wie der Schnitt Fig. 55 andeutet, aufgeklappt werden können. Die Canäle B werden nun in entsprechender Höhe mit dem Cementschlamm angefüllt, die Klappen D geschlossen und ebenfalls mit einer Cementschicht bedeckt, so daß die untere Cementlage durch die direct überstreichenden Feuergase, die obere aber durch die von unten erhitzten Platten D erwärmt wird.

Um die bei den zum Brennen von Portlandcement benutzten und periodisch beschickten Schachtöfen ungenutzt verloren gehende Wärme nutzbar zu machen, haben auch F. Schott (in Heidelberg) und Nage und Kämp (in Hamburg) folgende Einrichtung zum Trocknen der rohen Cementmasse (D. R.-P. Nr. 1440 vom 15. November 1877) getroffen [1]. Der obere durch das Schwinden der Cementmasse während des Brennens frei werdende Raum im Schachtofen dient als Trockenraum, in welchen durch seitlich in demselben angebrachte, mittelst Schieber verschließbare Thüren eiserne Wagen auf eingelegten Schienen eingeschoben werden. Auf diesen Wagen sind Gerüste angebracht, welche die zu trocknenden Cementsteine aufnehmen. Jeder Wagen füllt den Querschnitt des Ofenraumes möglichst aus. Ist durch das Schwinden des Cementes die oberste Thüröffnung im Schachtofen frei geworden, so werden von der Sohle der Thüre aus quer durch den Ofen die Schienen gelegt und der erste Wagen mit den zu trocknenden Cementsteinen eingeschoben; die Thüre wird wiederum durch den Schieber verschlossen. Durch das weitere Schwinden der Cementmasse wird nun die zweite darunter liegende, die dritte und vierte Thüre ꝛc. frei, durch welche ebenfalls auf den eingelegten Schienen die mit rohen Cementsteinen beladenen Wagen eingeschoben werden. Auf diese Weise wird der frei werdende Raum im Schachtofen mit mehreren Etagen Trockengerüsten versehen; die aus dem Brande der Cementmasse nach oben hin entweichenden heißen Gase durchstreichen und trocknen die Cementsteine aus und treten in bedeutend kühlerem Zustande aus dem Ofen aus.

Eine andere Art Trockeneinrichtung im Cementschachtofen ist die, nicht die Wagen mit den Gerüsten im Ofen stehen zu lassen, sondern die mit rohen Cementsteinen besetzten festen Unterlagen an Ketten zu befestigen und in dem Maße zu senken, als die Cementmasse im Brande schwindet. In diesem Falle befindet sich oben ebenfalls eine durch Schieber verschließbare Thüröffnung, durch welche die auf festen Unterlagen ruhenden Cementsteine mittelst Wagen in den Ofen eingeschoben werden. Nachdem je eine Unterlage an den Ketten befestigt ist, wird der leere Wagen wieder herausgezogen; je nachdem die Cementmasse schwindet, werden die Unterlagen mittelst Windevorrichtung gesenkt und oben neue angehängt. Die untersten, nunmehr getrockneten Cementsteine werden alsdann wieder auf

[1] Dingl. pol. J. 235, 292.

Wagen mitsammt der Unterlage, welche von der Kette losgelöst wird, durch eine unten angebrachte Thüröffnung herausgezogen. Die Trocknung der Cementsteine dauert natürlich so lange, bis die gebrannte, noch viel Wärme ausstrahlende Cementmasse entfernt ist.

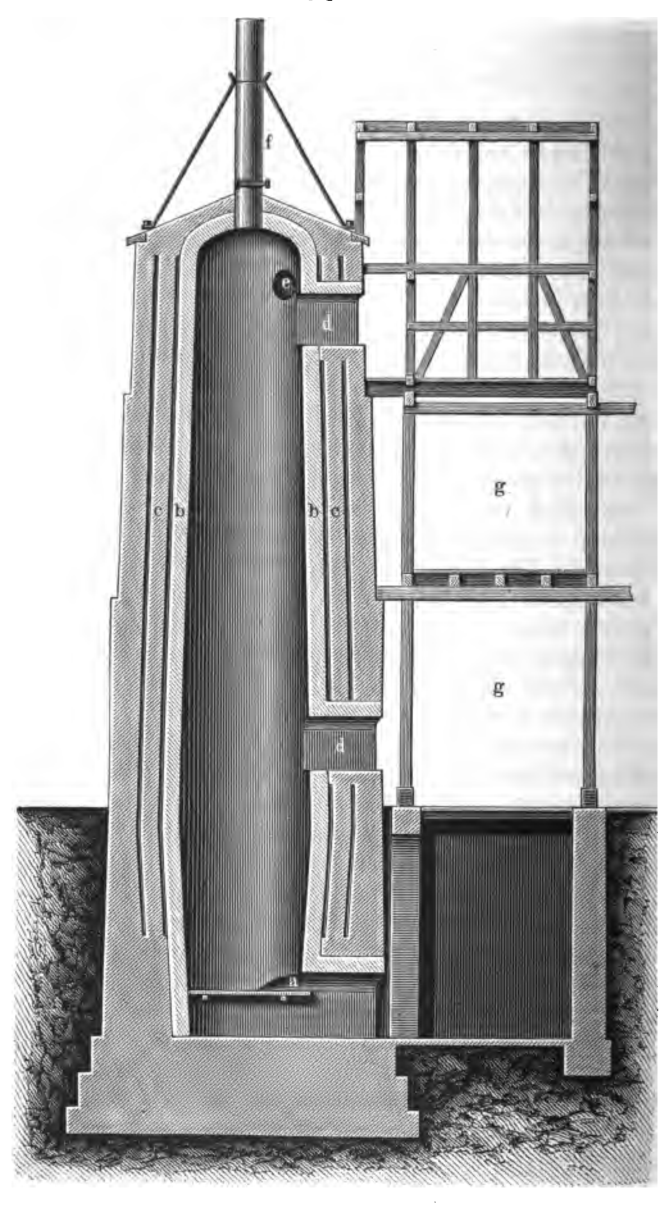
3. Brennen des Portlandcementes.

Das **Brennen** des Portlandcementes kann sowohl in periodischen als in continuirlichen Oefen ausgeführt werden; gewöhnlich sind aber noch Oefen mit unterbrochenem Gange in Anwendung; es sind dieses einfache Schachtöfen, in welchen die Cementsteine in abwechselnden Schichten mit dem Brennmaterial eingesetzt werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß die Form und Größe des Schachtofens von großem Einflusse für ein richtiges Brennen ist. Ein solcher Schachtofen ist in Fig. 56 (a. f. S.), einem Längenschnitt, und Fig. 57 (a. S. 131), einem Grundriß, dargestellt. Derselbe ist von 2 bis 3,5 m lichtem Durchmesser, 6 bis 8 m Schachthöhe und 6 bis 15 m Schornsteinhöhe. In einer Höhe von 0,9 bis 1,3 m über der Sohle des Ofens liegt ein sehr starker Rost *a*, dessen Stäbe aus Schmiedeeisen von 40 bis 80 mm im Quadrat hergestellt sind und der eine totale Fläche von 1,5 bis 2,5 qm zu erhalten pflegt. Das untere Viertel des Schachtes wird bis auf den Rost zu einer Rast zusammengezogen. Die innere Schachtmauer *b* ist aus Chamottesteinen aufgeführt und vom Rauhgemäuer (Mantel) durch eine Isolirschicht *c* getrennt. Die Stärke des Chamottemauerwerkes beträgt etwa 0,24 bis 0,26 m (einen Stein), die des äußeren Mantels 0,7 bis 1,5 m. Die Oefen über 12 m Höhe haben zwei Einsatzthüren *d d*, von welchen die eine da angebracht ist, wo der Blechschornstein *f* mit Absperrschieber aufsitzt, die zweite aber 4 bis 5 m über dem Roste. Außerdem ist ein Schauloch *e* angebracht und der Ofen mit einem Fachwerk *g*, als Lagerräume dienend, umgeben.

Die Beschickung dieser Oefen erfolgt in der Weise, daß auf dem Roste eine Lage leichtentzündlichen Brennmaterials, als Holzspäne, Reisig rc. ausgebreitet wird, darauf Scheitholz und Kohlen oder Torf und alsdann eine größere Menge von dem zum Brennen des Cementes bestimmten Material, in der Regel Coaks, in Ausnahmefällen anthracitische Steinkohle; man ebnet diese Schicht so gut als möglich und setzt darauf durch die Einsatzthüre die erste Lage Cementmasse in Form unregelmäßiger Brocken oder zu Steinen gestrichen, indem man dieselben rollschichtartig mit nur geringen Zwischenräumen aneinanderlegt. Auf dieser Steinlage breitet man sodann wiederum eine Schicht Brennmaterial aus, darauf die zweite Lage Steine und so fort, immer abwechselnd eine Lage Brennmaterial und eine Lage Steine. Die Quantität des Brennmaterials wird nach der Mitte der Beschickung zu allmälig verringert, nach oben hin aber wieder etwas verstärkt; die Menge und Vertheilung des Brennmaterials muß selbstverständlich für jedes Material durch eingehende Versuche erst ermittelt werden. Bei dem häufig sehr beträchtlichen Schwinden der Masse genügt es, die Steine lose aneinanderzupacken, um überall den Gasen den nöthigen Durchzug zu gestatten.

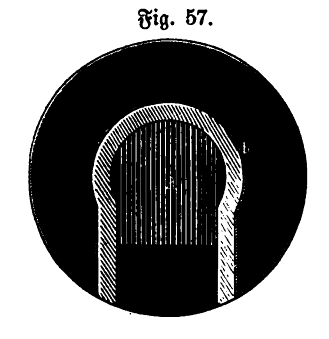
Nach dem Füllen des Ofens zündet man das Brennmaterial über dem Roste *a* an; nachdem das Feuer sich dem eigentlichen Brennmateriale mitgetheilt hat, vermauert man diese Oeffnung; ebenso werden die Einsatzöffnungen ver-

Fig. 56.



mauert und zum Theil durch außen vorliegende eiserne Thüren geschlossen. Der Luftzutritt findet von unten durch den Rost statt. Der Brennproceß vollzieht sich bei richtigem Gange ohne weitere äußere Einwirkung; der Ofen ist durchgebrannt, sobald die oberste Lage in Gluth steht, was durch die obere Einsatzthür oder ein im Ofen angebrachtes Schauloch *e* beobachtet werden kann.

Fig. 57.



Je trockener die Beschickung des Ofens, desto schneller und intensiver ist der Brand. Kleinere, etwa 50 Tonnen (10 000 kg) ausgebende Oefen können unter günstigen Umständen in 24 Stunden, größere, 100 bis 150 Tonnen haltende, in 30 bis 40 Stunden vollkommen durchgebrannt sein.

Ist der Ofen gänzlich ausgebrannt, so läßt man ihn abkühlen, und zieht sämmtliche Roststäbe heraus; theils von selbst, theils durch Nachhelfen mit Brechstangen, fällt nun die gebrannte Masse heraus.

Ein anderer Schachtofen, zum Brennen von Portlandcement angewendet, ist in Fig. 58 (a. f. S.) und Fig. 59 (a. S. 133) in Ansicht, Durchsicht und Grundriß dargestellt[1]). Seine Grundfläche beträgt 5,34 m im Quadrat, seine Höhe incl. der Kappe 14,44 m, und besteht wesentlich aus dem Rost, dem Schacht des Ofens und der Kappe.

Den 1,57 m breiten Rost bilden schmiedeeiserne 70 mm hohe, 50 mm breite und 2,10 m lange Stäbe, denen als Auflager zwei Eisenbahnschienen dienen. In der Gegend des Rostes, oder vielmehr unter demselben, befinden sich vier Oeffnungen, von welchen die breitere *a* (1,25 m breit, 1,64 m hoch) nicht nur zum Anzünden des im Ofen befindlichen Materials, sondern auch zum Herausziehen der Roststäbe und der gar gebrannten Cementmasse dient. Die kleineren Oeffnungen *b b b* haben den Zweck, dem Ofen während des Betriebes die gehörige Luft zuzuführen.

Der Schacht des Ofens enthält die von Chamottesteinen in feuerfestem Mörtel hergestellte Retorte, welche in der breitesten Stelle, mithin 2,50 m über der Oberkante des Rostes, einen Durchmesser von 2,82 m erhält; der obere Durchmesser beträgt 1,88 m, der untere 1,57 m. Die ganze Höhe der Retorte ist 7,69 m. Damit das Mauerwerk des Mantels durch die Hitze keine Sprünge erhält und um der Retorte den nöthigen Raum zum Ausdehnen während des Brennens zu gewähren, ist hinter derselben eine 70 mm breite ringsum gehende Isolirschicht angeordnet. Um in dem Ofen einen stärkeren Zug zu erzielen und den Verbrennungsproducten einen schnellen Abzug zu gewähren, ist auf dem Ofen die 5,65 m hohe Kappe angeordnet, welche einen oberen lichten Durchmesser von 1,25 m hat.

Soll der Ofen in Betrieb gesetzt werden, so bringt man leicht verbrennende Brennmaterialien auf die Roststäbe, worauf dann eine Schicht Cementmasse von

[1]) Zwick, Jahrb. d. Baugewerbe 1876, S. 363.

ca. 16 cm Höhe zu liegen kommt; auf diese ungefähr 11 cm Coaks, darauf wieder Cementmasse und so fort, bis zu der in der Kappe befindlichen Thüröffnung e, durch die sämmtliches Material in die Retorte geschafft wird. Während des Brandes ist diese Oeffnung durch eine eiserne Thüre verschlossen. Ist die Masse im Ofen bis oben an den Rand der Retorte gebrannt, dann werden die Roststäbe herausgezogen, der Cement fällt nach und wird selbst schließlich durch die Oeffnung *a* herausgeholt. Der Brand dauert ungefähr vier Tage.

Fig. 58.



Dieser Ofen kann auch zum Brennen von Romancement benutzt werden.

In Betreff der Construction und des Betriebes der Schachtöfen für Portlandcement ist noch zu bemerken, daß das ganze Mauerwerk wegen der sehr hohen Hitze bedeutend fester als bei den Schachtöfen zum Kalkbrennen anzuordnen, gut zu verankern und vor Allem mit einem Futter aus den besten Chamottesteinen zu versehen ist.

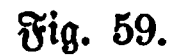
Von großer Wichtigkeit ist auch das Verhältniß der Stärke der Coaksschichten zu jener der Cementschichten. Dieses Verhältniß richtet sich sehr stark nach den besonderen Eigenschaften der Rohstoffe und findet man durch Versuche und genauere Beobachtung leicht das richtige Verhältniß.

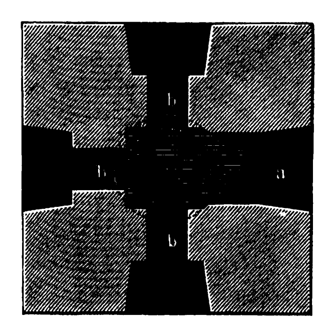
Als Brennmaterial wird in den Schachtöfen mit unterbrochenem Gange Coaks angewendet, seltener eine anthracitische Steinkohle, denn da die Gluth von Schicht zu Schicht, von unten auf nach oben hin vorrückt, so werden alle flüchtigen Bestandtheile aus den Kohlen abdestillirt und gehen für die Wärmeerzeugung verloren, so daß schließlich doch nur der coaksartige Rest derselben zur Wirkung kommt. Auch würde der Uebelstand eintreten, daß sich bei Anwendung von Kohlen ein unerträglicher Qualm entwickelt. Sodann ist bei Anwendung von Coaks die Gewähr, ein Material zu benutzen, das möglichst wenig schwefelsaure

Salze enthält, weil beim Vercoaken der größte Theil des vorhandenen Schwefels aus dem Brennmaterial entfernt worden ist.

Man hat auch vorgeschlagen, den Coaks vollständig oder wenigstens zum großen Theil der Cementmasse vor der Bearbeitung auf der Thonschneidemaschine zuzusetzen (D. White[1]). Dieses Verfahren hätte allerdings den großen Vortheil, daß der Brand sicher viel gleichmäßiger ausfällt und daß die Steine leichter und ohne zu reißen trocknen; andererseits ist aber sicher, daß dadurch das Fabrikat durch die Asche des Coaks verschlechtert wird; wenn man auch dem Aschengehalte des Brennmaterials gebührend Rechnung tragen würde, was in der Praxis kaum möglich ist, so kann doch nur bei Anwendung des allerfeinstzertheilten Brennstoffes, niemals aber bei Einmischung von Grus eine homogene Mischung erzeugt werden.

Der Umstand ferner, daß ein hoher Aschengehalt des Coaks überhaupt den Uebelstand mit sich bringt, auf die Cementmasse im Feuer nachtheilig einzuwirken, macht es nothwendig, in allen Fällen Coaks mit einem geringen Gehalt an Mineralbestandtheilen zu verwenden.


Fig. 59.



Beim Brennen in Schachtöfen sind nicht selten einige Steine durch ein zu intensives Feuer übergar oder todtgebrannt, andere wieder zu schwach gebrannt. Die ersteren sind auszusuchen und zu verwerfen, weil sie bei ihrer sehr großen Festigkeit sehr schwierig zu zerkleinern sind und weil sie ein nicht erhärtungsfähiges Pulver liefern. Die schwach gebrannten, ungaren, durch geringe Schwere und eine mehr oder weniger hellbraune Farbe gekennzeichneten Stücke werden nach dem Auslesen aufs Neue gebrannt.

Da bei periodischem Betriebe der Ofen jedesmal vollständig erkalten muß, ehe er von Neuem beschickt werden kann, so ist einleuchtend, daß dieses Brennverfahren in Bezug auf Wärmeausnutzung sehr wenig ökonomisch ist; man hat daher auch versucht, den Cement in continuirlichen Schachtöfen zu brennen. Wenn letzteres Verfahren auch beim Brennen von Romancement keine Schwierigkeiten hat, so ist dasselbe für Erzeugung von Portlandcement mit sehr geringem Erfolge in Anwendung gebracht worden, weil dieser im Feuer in das Stadium der Erweichung übergeht, dabei nicht nur in sich, sondern auch an den Ofenwänden fest anbackt; man ist dann gezwungen, den Ofen abkühlen zu lassen und den Cement mit Stangen loszubrechen. Letzterer Umstand ist die Ursache, daß man sich bis in die neueste Zeit fast allgemein der Schachtöfen mit unterbrochenem Betriebe bediente.

Indeß sind in neuester Zeit wiederholt Schachtöfen mit ununterbrochenem Betriebe zum Brennen von Portlandcement empfohlen worden, ob aber der Erfolg bei diesen ein günstigerer sein wird, als der der früher construirten continuirlichen Schachtöfen, muß erst abgewartet werden.

---

[1]) Dingl. pol. J. 135, 360.

Ein Ofen zum continuirlichen Brennen von Cement ꝛc. mit Vorwärmer zum Erhitzen der Masse vor Zugabe von Brennmaterial, ist Carl Dietzsch in Malstatt bei Saarbrücken (D. R.-P. Nr. 23 919 vom 23. Januar 1883 und Nr. 26 699) patentirt worden[1]; seine Einrichtung ist aus den Fig. 60 bis 62 zu ersehen.



Fig. 60.

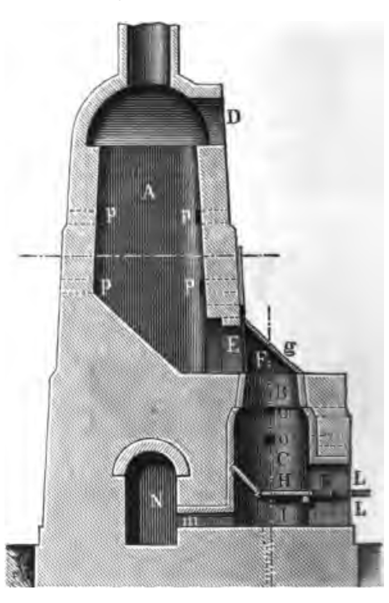


Fig. 61.

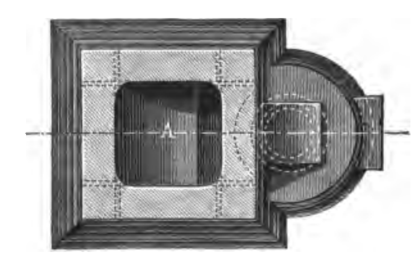


Fig. 62.

Der Ofen besteht aus drei Abtheilungen: *A* Vorwärmer, *B* Schmelzofen, *C* Abkühlungsraum. Der Vorwärmer hat oben eine Oeffnung *D* zum Einsetzen der rohen Masse und unten einen Schieber *E* zum zeitweisen Abschließen des Raumes. Der Schmelzofen steht durch den Hals *F* mit dem Vorwärmer in Verbindung, welcher Hals durch eine feuerfeste Thür *g* nach außen verschlossen ist. Der Abkühlungsraum schließt unten mit einem Rost *H* ab, durch welchen die Verbrennungsluft eintritt. Der gebrannte Cement wird durch die Oeffnung *K*, welche außen durch eine Thür *l* verschließbar ist, gezogen. Der freie Raum *I* unter dem Rost, welcher nach außen mit einer Thür *L* verschließbar ist, steht durch die Oeffnungen *m* mit

[1]) Thonind.-Ztg. 1883, S. 399. Dingl. pol. J. 250, 520.

einem Canal N in Verbindung, durch welchen künstlich Wind in den Ofen gepreßt werden kann. Der Schmelzraum B, als Mittelpunkt des Ofens, dient dazu, die Cementmasse zu fritten. Während des Frittens ist die Masse weich, schweißend, sie schmilzt in sich zu Klumpen und mit den Ofenwänden zusammen, besonders wenn sie, wie es in den unteren und mittleren Schichten der Fall, von darüber liegenden Schichten belastet ist. Der Schmelzraum ist daher so disponirt, daß er nach oben freigelegt und für Stech- und Brechwerkzeuge zugänglich gemacht werden kann. Er erweitert sich nach unten, damit die Cementmasse weniger an den Ofenwänden hängen bleiben kann.

Während der Vorwärmer A mit roher Masse und der Abkühlungsraum C mit gebranntem Cement gefüllt sind, ist der Schmelzraum B schichtweise mit Cementmasse und Kohle oder Coaks im Brande; die abziehenden Gase erwärmen und calciniren die Cementmasse, welche den Hals F und den Vorwärmer A füllt. Ist der Satz des Schmelzraumes so weit durchgebrannt, daß die Hitze im Abnehmen begriffen ist, so wird der Abkühlungsraum so weit geleert, daß er oben den Inhalt des Schmelzraumes aufnehmen kann. Dann wird die Thür g geöffnet und der Schieber E geschlossen. Sinkt die glühende Masse des Schmelzraumes den unteren Schichten nicht nach, so wird durch Stampfen, Stecheisen oder Belastung nachgeholfen, bis der Raum leer ist. Alsdann wird der Schieber E geöffnet und der Schmelzraum wieder mit vorgewärmter Masse und Brennmaterial gefüllt. Die Oeffnungen o, welche während des Brandes geschlossen sind, dienen dazu, im Nothfalle den Cement im Ofen zu lockern, und von den Ofenwänden durch Werkzeuge lösen zu können. Die gleiche Vorrichtung findet sich auch am Vorwärmer in den Oeffnungen p.

Der Ofen kann an seinem Abschluß oben entweder direct mit einem Kamin oder mit Trockenräumen in Verbindung gesetzt werden. Je nachdem es sich rentirt, mehr oder weniger Wärme zum Vorwärmen der Masse oder zum Trocknen zu verwenden, kann der Vorwärmer in seinem Inhalt beschränkt oder erweitert werden.

Der beschriebene Ofen zeigt das System des getheilten Cementbrandes, welcher in getrennten Räumen stattfindet, indem die Verbrennungsluft sich an gefrittetem Cement erwärmt, dann in den Schmelzraum tritt, und die heißen Gase die Masse in dem abgetrennten Vorwärmer erhitzen. Anstatt eines Schmelzraumes können mehrere um einen entsprechend großen Vorwärmer gelegt werden. Auch können die Schmelzräume größer oder kleiner gewählt werden.

Nach demselben System arbeitet ein anderer Ofen, wie er in Fig. 63 u. 64 (a. f. S.) abgebildet ist; nur ist hier statt des schachtförmigen Vorwärmers ein Canal mit beweglicher Sohle, d. h. mit Wagen W gewählt, die eine feuerfeste Platte haben, auf welcher die Cementmasse nach und nach in die Nähe des Schmelzraumes gefahren und von da in den Schmelzofen gezogen wird. Diese Anordnung ist vorzuziehen, wenn die Cementmasse nicht sehr fest ist und darum im Schachtofen sich zu sehr zerreibt.

Die Anwendung von Unterwind ist nur dann nothwendig, wenn genügender Zug nicht vorhanden ist, oder wo die abgehende Wärme durch Trockenräume geführt werden soll.

Die rohe Masse kann auf der Schicht des Vorwärmers noch etwas feucht, entweder in Gestalt von gepreßten oder geformten Steinen oder in unregelmäßigen Stücken, wie in den gewöhnlich offenen Schachtöfen, aufgegeben werden. Sie nimmt an Festigkeit zu, je mehr sie der Sohle des Vorwärmers entgegen sinkt, wo sie als brauner, dichter Halbbrand in der Festigkeit von gebranntem Kalk ankommt. In angehender Weißgluth, jedoch noch unfähig zu schweißen, wird die Masse vom Vorwärmer in den Schmelzraum befördert.

Fig. 63.

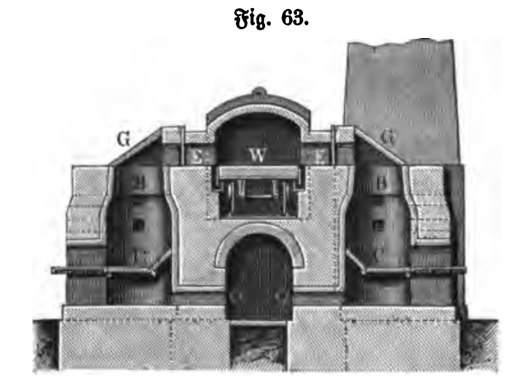
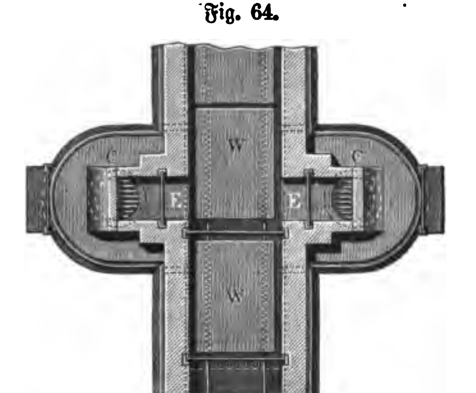


Fig. 64.



Zur Frittung des Cementes genügen, nachdem die Masse im Vorwärmer einige Stunden calcinirt und aufgeschlossen ist, 20 bis 30 Minuten; jede weitere Verlängerung der unter dem Frittepunkt stehenden niederen Hitzegrade und der zum Durchschmelzen der Masse erforderlichen Brennzeit ist mit unnöthigem Aufwande von Brennmaterial und Ofenräumen verbunden.

Wilhelm Bertina in Schierstein a. Rh. erhielt auf einen Hohofen zur Portlandcementfabrikation mit Anwendung von Gebläseluft und continuirlichem Betriebe ein Patent (D. R.-P. Nr. 2720 vom 8. Januar 1878 [1]). Sowohl die innere und äußere Gestalt des Ofens, als auch Ausrüstung und Gebläsearmatur haben große Aehnlichkeit mit den neuen „Hohöfen". Das mit einem completen Blechmantel umhüllte Mauerwerk ruht auf einem starken, freistehenden, durch eine entsprechende Betonsohle trocken gelegten Fundament, das zwei mit Schieber versehene Oeffnungen enthält, welche zum Entfernen der gebrannten Cementmasse bestimmt sind. Ferner sind in dem Unterbau die Gebläsegewölbe vorgesehen, in welche gußeiserne Formen eingesetzt werden. In dem unteren Theile des Blech-

[1]) Notizblatt des Deutschen V. f. Fabr. v. Ziegeln, Thonwaaren, Kalk und Cement 1878, S. 414. Jahresber. der chem. Technol. 1879, S. 643.

mantels, entsprechend der mittleren und oberen Rasthöhe, sind mehrere Schau- beziehungsweise Arbeitsöffnungen mit Bügelverschluß angebracht, um einem möglichen Versetzen des Ofens abhelfen zu können. Oberhalb der Formöffnungen ist das feuerfeste Ofenfutter eingezogen und zwar, um einmal die Rast als eigentlichen Brennraum (Garfeuer) zu erhalten und die Formen vor den niederfallenden Cementstücken zu schützen, vor Allem aber, um die möglichst beste Speiseluftvertheilung zu erreichen. Die Gicht des Ofens trägt eine Gichtbühne, welche mit einem Aufzug communicirt; fortlaufend mit dem Ofenschacht ist ein Blechschornstein mit zwei oder drei verschließbaren Thüröffnungen aufgesetzt, welche zum Aufgeben der Gichten dienen. Das innere Schachtfutter hat nun so viel Neigung, um das Niedergehen der Gichten regelmäßig zu fördern. Die Windleitungseinrichtungen sind die allgemein gebräuchlichen; die einzelnen Düsenrohre müssen mit Regulirvorrichtungen versehen und etwas beweglich sein.

Was die Dimensionen des Ofens betrifft, so richten sich diese nach dem in 24 Stunden zu erzielenden Quantum Cement, jedoch können als Maximalmaße ca. 18 m Höhe und ca. 6 m größter Durchmesser angenommen werden.

Es ist mehr als unwahrscheinlich, daß bei diesem Hohofen der Erfolg ein günstiger ist, um so mehr, da die gepreßte Luft ein intensiveres Verbrennen des Brennmaterials hervorbringen wird, was ein Verschlacken des Brenngutes und ein Anhängen an den Wänden nur befördern muß [1]).

Außer diesen angegebenen Oefen erwähnen wir noch den Schachtofen zum continuirlichen Brennen und Trocknen von Portlandcement von R. A. Gibbons (Northfleet in England [2]) und den continuirlichen viertheiligen Brennofen mit directer Gasfeuerung von Ferd. Steinmann [3]), Civilingenieur in Dresden, worüber das Nähere in der angegebenen Literatur zu finden ist.

Ein ganz neues Princip verfolgt A. Tomei in seinem Circulirofen. Ausgehend von der Thatsache, daß in den zum Brennen von Cement in Gebrauch befindlichen Schachtöfen eine große Quantität Wärme ungenutzt entweicht, indem einerseits die Rauchgase mit hoher Temperatur in die Atmosphäre entweichen, andererseits eine große Quantität von Gasen unverbrannt bleibt, suchte A. Tomei in Lebbin (Insel Wollin) in seinem patentirten (D. R.-P. Nr. 3502 vom 23 Februar 1878) Circulirofen zur Vermeidung des Wärmeverlustes den Schachtofenbetrieb continuirlich zu gestalten [4]). Er verbindet zu diesem Zwecke eine gewisse Anzahl Schachtöfen zu einem System und führt den Brennproceß abwechselnd in dem einen Schacht von oben nach unten, im zweiten von unten nach oben u. s. w. Die Schächte Fig. 65 und 66 sind durch Rauchcanäle abwechselnd oben und unten mit einander und mit dem Schornstein in Verbindung gebracht. Während des Brennens sind die Füllöffnungen durch Deckel *o* geschlossen, die unteren zum Entleeren bestimmten Oeffnungen aber vermauert.

---

[1]) Tomei, Notizblatt f. Fabrik. v. Ziegeln 1879, S. 197.
[2]) Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1879, S. 646.
[3]) Dingl. pol. J. 200, 457.
[4]) Dingl. pol. J. 237, 293. Thonind.-Ztg. 1879, S. 80.

Soll nun z. B. Schacht *A* angezündet werden, so bringt man in denselben unten Holz und setzt ihn dann in gewohnter Weise abwechselnd mit Coaks und Steinen voll. Darauf schließt man den Schieber *a* und die Rauchglocken *b*, welche die Verbindung mit Schacht *B* herstellen, ebenso die Gichtöffnung *o*, während die Ausziehöffnung und die Rauchglocken *c*, welche die Gase in den Schornstein führen, geöffnet bleiben. Man entzündet nun das Holz und läßt allmälig den Brand

Fig. 65.

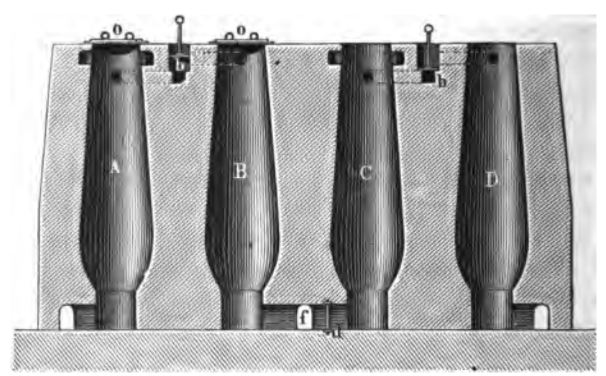
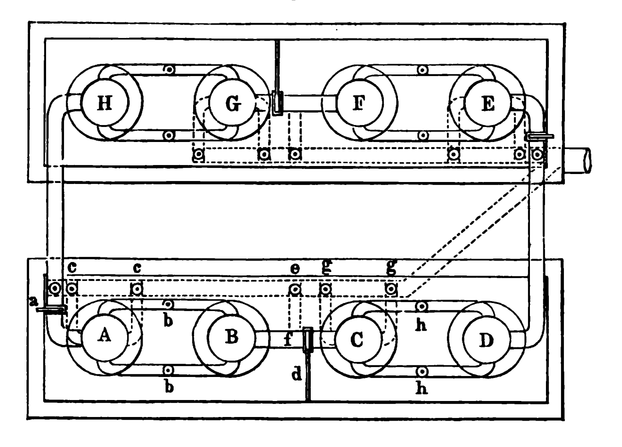


Fig. 66.



bis in die Mitte des Ofens vordringen. Inzwischen ist Schacht *B* mit Coaks und Steinen angefüllt, oben eine kleine Lage Holz aufgebracht, zuletzt oben und unten geschlossen worden. Dann werden die Rauchglocken *c* geschlossen und die Glocken *b* und *e* geöffnet, so daß jetzt bei geschlossenem Schieber *a* die Rauchgase aus Schacht *A* durch Schacht *B*, den Canal *f* und die Glocke *e* in den Schornstein entweichen. Man entzündet nun das Holz auf Schacht *B*, indem man gleichzeitig Luft durch den Deckel eintreten läßt. Dadurch werden die aus

Schacht *A* kommenden Gase entzündet und somit Schacht *B* vorgewärmt, bis sich auch hier der Coaks entzündet. Ist Schacht *B* bis in die Mitte gebrannt, so wird der Schieber *d* geöffnet und somit die Verbindung mit Schacht *C* hergestellt, welcher nachher vollständig gesetzt und geschlossen worden ist. Die Glocken *b*, *h* und *e* werden geschlossen und die Glocken *g* geöffnet. Ferner öffnet man den Deckel von Schacht *B*, damit die Luft leicht eintreten kann. Zur Entzündung der Gase wird durch die untere Thür von Schacht *C* etwas Holz entzündet und Luft zugeführt. In gleicher Weise schreitet man mit dem Betriebe von Schacht *C* nach *D*, von hier nach *E* u. s. w. fort bis zu Schacht *A* zurück, so daß der Betrieb ein ununterbrochener ist.

Tomei giebt an, daß bei seinem Ofen $1/3$ des Brennmaterialverbrauches gewöhnlicher Schachtöfen gespart werde, ohne die Vortheile des Schachtofens für das Brennen von Cement zu vermindern. Auch sei das Fassungsvermögen der Oefen dadurch ein größeres, daß der Raum, welcher von dem weniger gebrauchten Coaks eingenommen wäre, für zu brennendes Material frei werde. Außerdem kann auch der Zug viel leichter und vollkommener regulirt und in Folge dessen eine größere Sicherheit des Brandes herbeigeführt werden. Endlich könnten in die Oefen halbtrockene Steine gesetzt werden und die Oefen eventuell leicht mit Gasfeuerung versehen werden. Dasselbe Princip sei auch für Kammeröfen anwendbar und dann könne das Heizen derselben sowohl durch schichtweise eingegebenes Brennmaterial oder auch durch Heizschächte, wie beim Ringofen, bewirkt werden.

In neuerer Zeit hat man in mehreren Fabriken angefangen, den Hoffmann'schen Ringofen mit großem Vortheile zum Brennen von Portlandcement zu verwenden. Form und Betrieb des Ofens haben wir bereits beim Kalkbrennen (S. 41) besprochen. Für das Brennen des Portlandcementes hat dieser Ofen außer der Brennmaterialersparniß noch den Vorzug, daß die Beschickung fortwährend und ohne Störung des Brennprocesses beobachtet, daß die Höhe der Gluth bemessen und hiernach die Befeuerung regulirt werden kann, daß somit eine große Sicherheit für den günstigen Ausfall des Brandes gegeben ist.

Der Ringofen gestattet, den Trockenproceß dadurch abzukürzen, daß man die Steine in denselben einsetzen kann, sobald sie nur die genügende Festigkeit haben, um ihr eigenes Gewicht zu tragen.

Die bereits vorhandenen Ringöfen haben 8 bis 18 und auch mehr Abtheilungen. Bei regelmäßigem Betriebe soll jeden Tag das Feuer um eine Abtheilung vorwärts rücken, folglich wird auch jeden Tag eine Abtheilung vollgesetzt und eine geleert. Im Ringofen kann man ganz nach Bedarf produciren, man kann langsam oder rasch brennen, wie es die Umstände, resp. der Absatz verlangen.

Im Ringofen kann jedes beliebige Brennmaterial angewendet werden; dasselbe kann hier auch einen bedeutenderen Aschengehalt haben, weil erstlich die Menge des erforderlichen Brennmateriales eine viel geringere ist und dann, weil die größere Masse des Aschengehaltes in den Beschickungscanälen abgelagert wird.

Was den Betrieb im Ringofen anbelangt, so erfordert derselbe genau geschulte Arbeitskräfte und eine stete gewissenhafte Beaufsichtigung.

Ueber den **Werth des Ringofens** gegenüber den Schachtöfen beim Brennen von Portlandcement ergiebt sich aus den bisher gemachten Beobachtungen Folgendes: Der Brennmaterialbedarf stellt sich wesentlich zu Gunsten des Ringofens, welcher nur 70 bis 75 Proc. (nach Anderen nur etwa die Hälfte) von dem erfordert, was in Schachtöfen verbraucht wird. Auch das Einsetzen und Entleeren ist beim Ringofen billiger und betragen die desfallsigen Kosten nur 75 bis 85 Proc. von denjenigen beim Schachtofen; das Entleeren des Ringofens ist indessen angreifender für die Arbeiter als beim Schachtofen, wegen der Hitze, welcher die Arbeiter im Ringofen sich aussetzen müssen.

Die Vortheile des Ringofens kommen um so mehr zur Geltung, je schneller der Betrieb desselben stattfindet, d. h. je schneller das Feuer vorwärts schreitet, je mehr Cement also in dem Ofen gebrannt wird. Je besser das Brennmaterial und je trockener die rohen Cementziegel beim Einsetzen sind, desto mehr leistet der Ofen und kann der Unterschied gegen geringwerthiges Brennmaterial und Einsetzen nasser Cementsteine so bedeutend werden, daß es sich empfiehlt, letztere extra zu trocknen, wenn dieses billig bewerkstelligt werden kann. Dieser Punkt ist namentlich dann in Betracht zu ziehen, wenn der Ringofen bis zur äußersten Grenze seiner Leistungsfähigkeit ausgenutzt werden soll. Der Verwendung geringwerthigen Brennmaterials und nassen Steinen gegenüber kann bei gutem Brennstoff und trockenen Steinen die Leistungsfähigkeit des Ringofens um 20 Proc. und mehr gesteigert, d. h. das Brennen viel schneller betrieben und der Ofeninhalt viel leichter bis in die äußersten Winkel gleichmäßig gesintert werden. Es ist hier der Einfluß der Qualität des Brennstoffes auf die Leistungsfähigkeit des Ofens entschieden größer als beim Schachtofen, wo etwas schwächeres Brennmaterial in nicht so intensiver Weise seine Geringwerthigkeit documentirt; die zum Garbrennen des Cementes erforderliche Brennstoffmenge, je nach dessen Qualität, schwankt in geringerem Maße beim Schachtofen als im Ringofen, da beim ersteren doch stets Ueberschuß an Brennstoff gegeben werden muß. **Erdmenger**[1]).

In gleich günstiger Weise urtheilen auch **B. Liebold**[2]) und **Fr. Ziureck**[3]).

Vergleicht man die Anlagekosten eines Ringofens für eine jährliche Production von 100000 Tonnen Portlandcement mit den Anlagekosten von 14 Schachtöfen, wie sie für diese Production erforderlich sind, so ergiebt sich:

Ein Ringofen mit 18 Abtheilungen zum Brennen von 100000 Tonnen Portlandcement pro Jahr erfordert:

1400 cbm Mauerwerk aus Bruchsteinen oder gewöhnlichen Ziegeln incl. Material à 14 Mk.	Mk.	19 600
Schornstein, 50 m hoch, Material und Arbeit	„	4 000
270 cbm Ofenfutter aus Chamottesteinmauerwerk à 40 Mk.	„	10 800
Eisentheile	„	3 600
Bedachung des Ofens, Material und Arbeit	„	10 000
	Mk.	48 000

---

1) Thonind.-Ztg. 1882, Nr. 50.
2) Notizblatt f. Fabrik. v. Ziegeln ꝛc. 1876, S. 309.
3) Dasselbe 1871, S. 109.

Ein Schachtofen mittlerer Größe erfordert:

220 cbm Mauerwerk aus Bruchsteinen oder gewöhnlichen Ziegeln incl. Material à 14 Mk.	Mk. 3080
18 cbm Chamottesteinmauerwerk desgl. à 40 Mk. . . .	„ 720
Eisentheile, Roststäbe, Rostbalken, Reifen ꝛc.	„ 720
Hölzerner Umbau des Ofens	„ 500
	Mk. 5000

Vierzehn solcher Schachtöfen, wie sie zum Brennen von 100 000 Tonnen Portlandcement pro Jahr erforderlich sind, kosten also 14 × 5000 = Mk. 70 000; dieselben stellen sich also um nahezu 50 Proc. theurer als der Ringofen. Außerdem ist zu beachten, daß Schachtöfen fortwährende Reparaturen erfordern, während gut gebaute Ringöfen nur sehr selten reparaturbedürftig sind. Diese Ueberlegenheit des Ringofens, sowohl in Betreff geringerer Anlagekosten als auch eines billigen Betriebes, ist die Ursache, daß die meisten größeren Portlandcementfabriken Deutschlands sich der Ringöfen bedienen[1]).

Ein nach dem Princip des Hoffmann'schen Ringofens eingerichteter Ofen ist der von Lipowitz, welcher in einer Cementfabrik auf Schonen (Schweden) angewendet ist[2]).

Der gar gebrannte Cement stellt eine gesinterte, je nach dem Material, woraus er bereitet worden, mehr oder weniger poröse, lavaartige Masse von grüngrauer Farbe und ziemlich bedeutender Festigkeit dar.

Ungare Partien zeigen keine Sinterung und haben bei sehr geringer Festigkeit eine mehr oder weniger hellbraune Färbung; übergare sind von sehr dichter Structur, basaltartig, blaugrau bis schwarzgrün von Farbe, ungemein fest und geben ein schweres, scharfes Pulver, welches nicht mehr bindet. Es ist daher möglichst zu sorgen, nur die grüngraue, poröse Masse zu erzeugen; hierzu ist es nothwendig, für ein jedes Material durch Versuche den geeignetsten Hitzegrad zu ermitteln. Je dichter das Rohmaterial ist, desto schärfer muß im Allgemeinen der Brand sein. Auch muß die Temperatur beim Brennen um so höher sein, je reicher die Mischung an Kalk und umgekehrt. Die zur Erzeugung von Portlandcement erforderliche Temperatur ist helle Weißgluth, etwa 2000°. Da man nicht im Stande ist, solche Temperaturen nur annähernd zu schätzen, so gewähren nur die Farbenveränderungen, welche der zu brennende Cement im Feuer erleidet, einen sicheren Anhaltspunkt über die beim Brennen inne zu haltenden Temperaturgrenzen.

Bei dunkler Rothglühhitze wird der kohlensaure Kalk ätzend und wirkt aufschließend auf den Thon. Bei lebhafter, nur eine Stunde anhaltender Rothgluth wird derselbe so vollständig zersetzt sein, daß mit Ausnahme größerer Quarztheilchen sämmtliche Kieselsäure in die lösliche Modification übergeführt ist und sich Alles in verdünnter Salzsäure löst; dabei hat die Masse eine hellgelbbraune Farbe angenommen, sie erhitzt sich mit Wasser stark und ihre Erhärtungsfähigkeit ist nur gering.

---

[1]) Aus der Töpfer- und Ziegler-Ztg. durch die Thonind.-Ztg. 1882, S. 447.

[2]) Dr. Zwick, Jahrb. der Baugewerbe 1871, S. 262.

Mit steigender Temperatur wird die Masse immer dunkler braun; ihre Beständigkeit an der Luft wächst mit ihrer Erhärtungsfähigkeit, ihre Erhitzung mit Wasser nimmt ab, Beweise, daß der ätzende Kalk mehr und mehr in chemische Verbindung mit den Bestandtheilen des Silicats tritt.

Mit Weißgluth wird die Masse grau, nimmt einen Stich ins Grüne, von Eisenoxydkalk an, der mit der Temperatur an Intensität zunimmt. Bis jetzt hat auch noch immer die Güte und Erhärtungsfähigkeit des Cementes zugenommen; denn die Härte und Widerstandsfähigkeit des angemachten Cementes steht, innerhalb der zulässigen Grenzen, mit der Dichtigkeit der gebrannten Masse in geradem Verhältnisse.

Nimmt die Intensität des Feuers noch weiter zu, so tritt an Stelle der grünlichen Eisenoxydkalkfärbung eine blaugraue, von sich bildendem Eisenoxydulsilicat, und dann wird der Cement schon untauglich. Bei noch weiterer Steigerung der Temperatur wird die Masse immer dichter, alles Eisenoxyd ist verschwunden und Eisenoxydul an seine Stelle getreten. Zuletzt geht die Masse in den Zustand vollkommener Schmelzung über, wird obsidianartig und durch kieselsaures Eisenoxydul grünschwarz gefärbt.

Im ersten Stadium giebt die gebrannte Masse ein helles gelbbraunes und lockeres Pulver; im zweiten, dem Normalzustande, ein scharfes, graues, ins Grüne ziehendes Pulver; im dritten ist das Pulver entschieden blaugrau, während das Product des letzten, der verglaste Cement, ein helles, weißgraues, äußerst scharfes Pulver liefert.

Man sollte daher von Zeit zu Zeit Proben dem Ofen entnehmen, um ersehen zu können, daß der gewünschte Grad der Sinterung eingetreten ist; in dieser Beziehung hat der Ringofen wieder einen Vorzug vor anderen Oefen voraus, indem man es beim Ringofen ganz in der Gewalt hat, sich jeden Augenblick von dem Zustande des im Feuer befindlichen Materials zu überzeugen. Michaëlis [1]).

Eine sehr unangenehme manchmal auftretende Erscheinung ist die Neigung der im Feuer befindlichen Cementmasse sowohl beim Beginn des Brandes als auch beim Abkühlen zu Pulver zu zerfallen, welches mit Wasser schlecht oder kaum noch erhärtet. Diese Eigenschaft kann auch beim Brennen des Portlandcementes in Schachtöfen Störungen verursachen, es werden dann die unteren Lager, welche schon zur Abkühlung gelangen, während die mittleren und oberen noch im Brennen begriffen sind, durch ihr Zerfallen die Zugöffnungen dermaßen verstopfen, daß der Brennproceß ganz oder zum Theil unterdrückt wird. Der zerfallene Cement stellt, wenn von normal gebrannter Masse herrührend, ein äußerst feines hellbraunes Pulver dar.

Dr. Michaëlis schreibt das freiwillige Zerfallen des Portlandcementes einem chemischen Spannungszustande zu bei falscher, d. h. zu thonreicher Zusammensetzung. Thonreiche Mischungen, welche 200 Aequivalente und weniger Kalk auf 100 Aequivalente Kieselsäure und Sesquioxyde enthalten, sind es, welche bei der Abkühlung mehr oder weniger zerfallen. In diesen thonreichen Mischungen ist nicht genug Kalk vorhanden, um das Eisenoxyd und die Thonerde

[1]) Michaëlis, Die hydr. Mörtel &c., S. 136.

ei der zur Erzeugung von Portlandcement erforderlichen Temperatur vor der heilweisen Verbindung mit Kieselsäure zu bewahren. Die Temperatur ist andererseits wiederum noch nicht hoch genug, um eine so feste und stabile Verbindung wischen diesen Körpern zu bilden, daß dieselbe auch bei gewöhnlicher Temperatur, oo die Verwandtschaft der Kieselsäure zur Thonerde und zum Eisenoxyde eine ehr geringe ist, bestehen kann, und so kommt es, daß die Moleküle bei der Abühlung sich trennen. Die Eigenschaft des Zerfallens läßt sich daher einfach urch Zusatz geringer Mengen Basis, wie Kalk und Alkalien, zu den zerfallenden Mischungen beseitigen. Auf der anderen Seite darf aber die Cementmischung vieder nicht zu kalkreich werden, weil dann ein anderer ebenso unangenehmer Fehler, das Treiben, eintritt.

Nach L. Erdmenger[1]) rührt das Zerfallen der Cementmasse auch noch on anderen Ursachen, als einem zu hohen Thongehalt her, so unter Anderem auch von dem zu scharfen Zuge im Ofen von dem Beginn des Brandes an bis zu eintretender Sinterung. Auch kann selbst bei sehr kalkhohem, sogar treibendem Cement durch stark aschenhaltige Coaks, welche auf den im Cement enthaltenen Kalk wie der Thon einwirken, erhebliches Zerfallen im Ofen eintreten; es sind daher beim Brennen im Schachtofen möglichst aschenreine Coaks anzuwenden. Sollte aber auch bei reinen Coaks bei quantitativ richtigen Mischungsverhältnissen der Rohmaterialien Zerfallen eintreten, so ist zu schwach gebrannt oder die Mischung mangelhaft, deren sorgfältigste Handhabung immer vor Allem betont werden müsse.

Nach Dr. Frühling[2]) ist das Zerfallen der Cementklinker auch häufig auf fehlerhaftes Brennen zurückzuführen. Normale Mischungen zerfallen oft sehr stark, wenn dieselben langsam gebrannt werden, d. h. sehr lange im Ofen in Gluth stehen bleiben. Es sei schon oft vorgekommen, daß man beim Eintreten dieses Fehlers die Ursache lange vergeblich in den Mischungen suchte, während derselbe schließlich durch einen schnell zu Ende geführten Brennproceß beseitigt wurde. Schon die durch Einfluß des Wetters sich so oft verändernde Brennzeit eines Ofens weist auf den hohen Werth eines schnellen Brennens des Cementes hin.

H. Le Chatelier[3]) erklärt das Zerfallen des gebrannten Cementes aus dem Verhalten des im Portlandcemente enthaltenen Calciumsilicats, $2\,CaO \cdot SiO_2$. Wird dieses bis zum Erweichen erhitzt (Schmelztemperatur des weichen Eisens) und langsam abgekühlt, so bildet es eine etwas durchscheinende Masse, welche bald krystallinisch wird und dann in ein feines Pulver zerfällt. Bei Anwendung weniger hoher Temperaturen tritt dieses Zerfallen nicht ein.

4. Pulverisiren der gebrannten Cementmasse.

Die bis zur Sinterung gebrannte Cementmasse besitzt eine große Härte und Festigkeit, welche je nach dem Rohmaterial und der mehr oder weniger steifen

1) Thonind.-Ztg. 1881, S. 51.
2) Notizbl. f. Fabr. v. Ziegeln ꝛc. 1875, S. 84.
3) Compt. rend. 94, 867. Thonind.-Ztg. 1882, S. 203.

Mischung mehr oder minder beträchtlich sein kann. Da, wie wir später angeben werden, der Grad der Zerkleinerung des Portlandcementes einen sehr wesentlichen Einfluß auf die Bindefähigkeit desselben hat, so ist man in neuester Zeit immer mehr bestrebt, die Zerkleinerung des Cementes in möglichst vollkommener und billiger Weise zu erreichen. Hierzu bedarf man bei der sehr beträchtlichen Härte der Cementmasse eine nicht geringe mechanische Kraft und starke Maschinen.

Die zum Pulverisiren angewendeten Maschinen sind von sehr verschiedener Construction, meistens werden Maschinen verwendet, welche sich in die Zerkleinerungsarbeit in der Weise theilen, daß besondere Maschinen die Cementmasse in kleineres Korn verwandeln und andere zum Pulvern dienen. Selten bedient man sich jetzt noch solcher Maschinen, welche die ganze Zerkleinerungsarbeit allein auszuführen haben, weil diese der Natur der Sache nach immer einen verhältnißmäßig viel größeren Kraftaufwand erfordern und weit weniger leisten.

Der erstere Weg ist unbedingt der rationellste; der jetzige Stand der Cementindustrie stellt hohe Anforderungen auf quantitative wie qualitative Leistung, Kraftbedarf und Widerstandsfähigkeit der Maschinen und diesen Anforderungen kann nur genügt werden, wenn die Zerkleinerung allmälig und auf verschiedenen auf einander folgenden Maschinen ausgeführt wird, so zwar, daß für jede einzelne Maschine das Maximum ihrer Wirkungsfähigkeit gesichert bleibt. Auch sollte die Sortirung dahin ausgedehnt werden, daß die einzelnen auf einander folgenden Zerkleinerungsmaschinen nur gleichmäßiges und zwar nur solches Aufschüttgut erhalten, für das sie besonders geeignet sind. Kämp[1]).

Zur Vorzerkleinerung des Cementes benutzt man fast allgemein, abgesehen von den noch hier und da vorkommenden Brechschnecken, Steinbrecher und Walzwerke in der Art, daß durch die Steinbrecher die gröbsten Stücke auf ein ziemlich gleichmäßiges Korn gebracht und dann den Walzen zugeführt werden.

Maschinen zur Vorzerkleinerung des Cementes.

Steinbrechmaschine. Diese von dem Amerikaner Blacke aus Newhaven, Connecticut, 1858 erfundene Maschine ist durch die Londoner Weltausstellung 1862 in Europa allgemein bekannt geworden, hat sich ihrer Einfachheit und Leistungsfähigkeit halber sehr schnell eingebürgert und ist seitdem von vielen Maschinenbauanstalten mit mancherlei Abänderungen und Verbesserungen ausgeführt worden.

Die Construction einer Steinbrechmaschine mit einem beweglichen Backen ist aus Fig. 67 und 68 ersichtlich. *A* und *B* sind die beiden Kinnladen, durch welche das zu zerkleinernde Material zerbrochen wird. *A* steht fest und vertical, *B* ist beweglich und schließt mit *A* einen ca. 27° messenden Winkel ein; diese schwingt in kleinen Oscillationen um die Achse *D*. Diese Bewegung wird der Kinnlade *B* durch den Kniehebel *EE'* mittelst des Kurbelgetriebes *GH* von der Schwungradwelle *H* aus mitgetheilt und zwar so, daß der Kniehebel die Lade *B* gegen die aufgegebenen Steine drückt, während der Rückgang von *B* durch die

---

[1]) Thonind.-Ztg. 1881, S. 162, u. Notizbl. f. Fabrik. v. Ziegeln ꝛc. 1878, S. 126.

Gummifeder *F* bewirkt wird. Die feste Lade *A*, gegen welche die Steine gequetscht werden, besteht aus einem mit verticalen Furchen versehenen gußeisernen

Fig. 67.

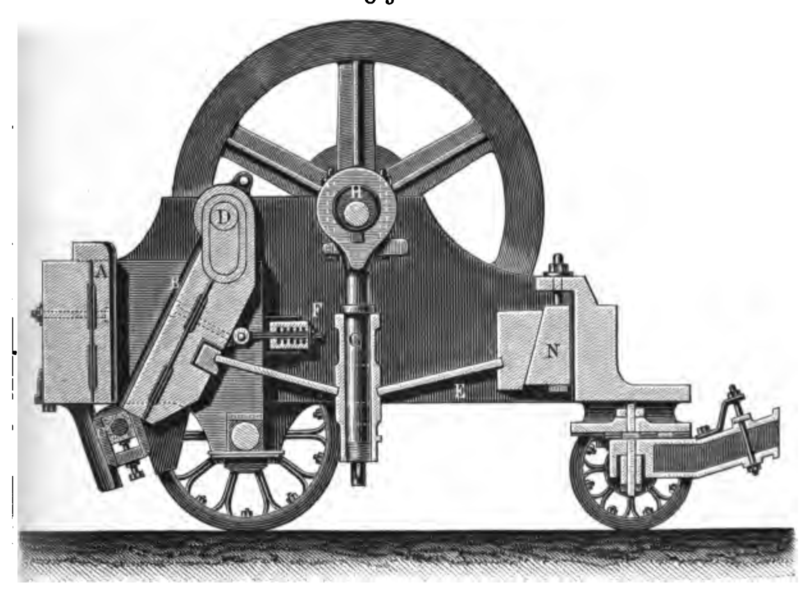
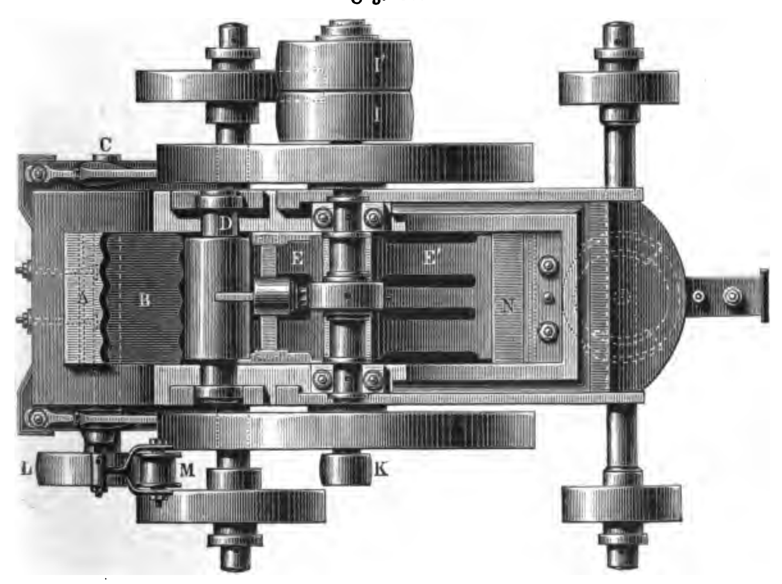


Fig. 68.

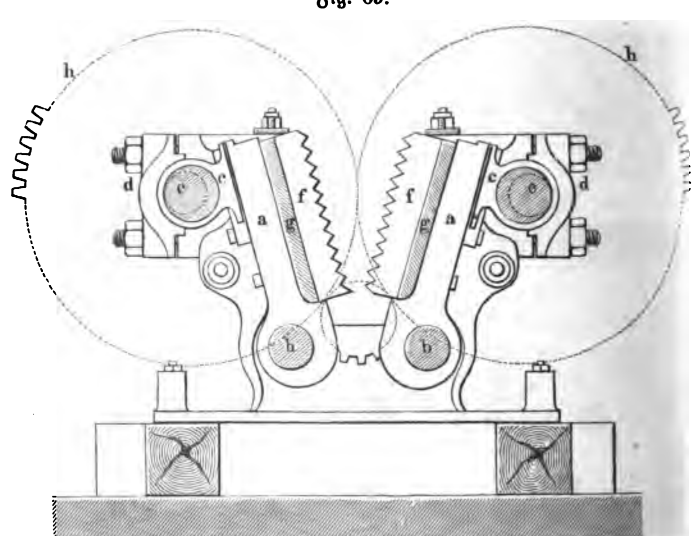


Block; ebenso ist die bewegliche Lade *B* von Hartguß auf ihrer wirkenden Seite gleichfalls mit Furchen versehen, derart jedoch, daß die Erhöhungen den Vertiefungen der festen Lade entsprechen. Der Kniehebel ist mittelst der hinter dem Schenkel *E'* liegenden Keilvorrichtung verstellbar.

Die Walze *C* bewirkt das regelmäßige Auswerfen des Steinbruches und erhält ihre Bewegung durch Riemenbetrieb von der Hauptwelle *H* aus mittelst der Scheiben *K* und *L* nebst der Spannwelle *M*. Der Betrieb der Schwungrad- und Kurbelwelle *H* geschieht durch Riemenbetrieb, für welchen die Scheiben *J* und *J'* angebracht sind. Als Kraftmaschine dient in der Regel eine Dampfmaschine.

Eine Steinbrechmaschine mit zwei beweglichen Backen hat nachstehende Einrichtung (Fig. 69). *a* Backen, um Achsen *b* beweglich, mit gezahnten

Fig. 69.

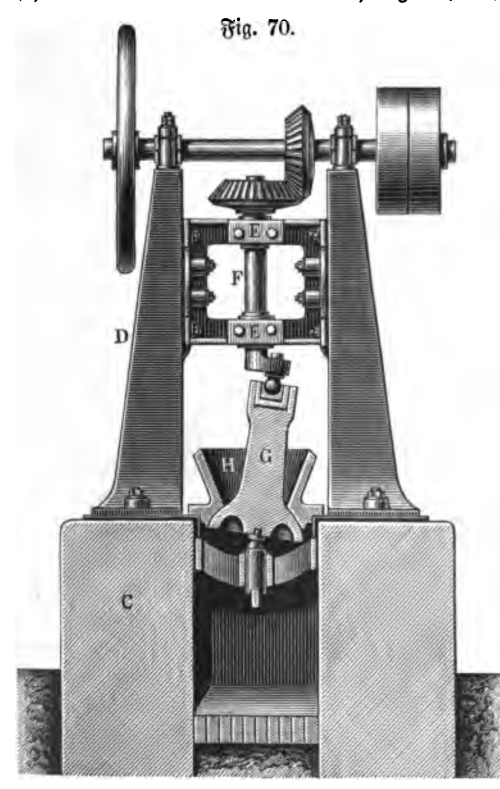


Platten *f* und Holzfutter *g* versehen. *d* zwei Halsringe auf der Rückseite jedes Backens am oberen Ende *c*, durch welche er von je einer besonderen Welle *e* bewegt wird. Beide Wellen sind durch gezahnte Räder *h* gekuppelt, in die ein Getriebe eingreift, auf dessen Welle sich ein Schwungrad befindet. Jede Backe durchläuft nur den halben Hub der gekröpften Achsen und daher können auch die Radzähne und die Achsen schwächer sein, als wenn nur eine Backe beweglich ist. Die beiden Backen des Brechmaules sind mit leicht auszuwechselnden gußstählernen oder in Schalenhartguß hergestellten gerippten Platten armirt.

Die Walzwerke, welche zur weiteren Zerkleinerung der von der Steinbrechmaschine vorgebrochenen Cementmasse bis zu grobem Pulver dienen, sind in der Regel so angeordnet, daß zwei Paare derselben über einander liegen. Das obere cannelirte Walzenpaar empfängt das vom Steinbrecher grob vorzerkleinerte

Material und giebt dasselbe an das untere enger gestellte Walzenpaar ab, welches die Zerkleinerung soweit bewirkt, daß von hier aus das Material direct auf die Mahlgänge ꝛc. gehen kann. Eine Rüttelvorrichtung mit Regulirvorrichtung am Trichter bewirkt eine regelmäßige Aufgabe des zu zerkleinernden Cementes. Bei jedem Walzenpaar ist die eine Walze festgelagert, die andere mit ihren Lagern verschiebbar und mit einer Stellvorrichtung versehen, um die Korngröße des zu erzielenden Mahlgutes reguliren zu können.

Fig. 70.



Die Walzen liefern schon einen gewissen Procentsatz an feinem Mehl, so daß hier schon eine Absiebung stattfinden kann.

Eine in neuerer Zeit zur Anwendung gekommene Zerkleinerungsmaschine ist die von der Märkischen Maschinenbauanstalt, vorm. Kempf u. Comp. zu Wetter a. d. Ruhr (Westphalen) verbesserte Renette'sche Mörsermühle (D. R.-P. Nr. 575 vom 8. Juli 1877).

Die Eigenthümlichkeit der Mörsermühle besteht in der kreisförmigen Oscillation einer schweren Birne (Keule) in und unterhalb eines sphärischen, mörserartigen Topfes. Die in den Topf eingebrachten Stoffe werden zunächst in dem weiten Theile des Topfes von der oscillirenden Birne erfaßt, zermalmt und fallen zu immer kleineren Stücken immer tiefer in den Raum zwischen Topf und Birne hinunter, um stets von Neuem wieder von der Birne erfaßt, zu immer kleineren Stücken und schließlich nach Erfordern selbst zu feinem Pulver gemahlen zu werden. Die Wirkung der oscillirenden Birne ist also eine continuirliche.

Die Fig. 70 und 71 repräsentiren die Construction einer Mörsermühle, bei welcher die Birne durch ihren oberen Theil als Steinbrecher, und von unten nach oben als Zermalmmaschine arbeitet. Den möglichsten Grad von Feinheit des Mahlproductes erzielt diese Mühle also durch Höherstellen der Birne.

Auf einem starken Fundament C befindet sich ein gußeisernes Gerüst D, welches die Lager E aufnimmt, in welchen die verticale Welle F geführt ist. Die Bewegung dieser verticalen Welle wird durch konische Räder bewirkt, auf

deren Antriebswelle die Antriebsriemenscheiben und das Schwungrad befestigt sind. Zur Herstellung der kreisförmigen Oscillation der Birne *G* ist an der Welle eine Kurbel mit kugelförmigen Zapfen aufgekeilt, welche mit Hülfe eines in der Birne befindlichen, verschiebbaren Metalllagers die Oscillation der Birne mittheilt und zu gleicher Zeit ein Höher- oder Tieferstellen der Birne *G* gegen den Topf *H* gestattet. Die Stellung der Birne wird durch Schraube und Handrad mittelst einer starken Hebelübersetzung bewirkt, auf welchen Hebel der Stahlzapfen der Birne in einem sicher geführten Lagerstempel ruht.

Fig. 71.



Die Form der Birne *G* ist im Wesentlichen ein Kegel, dessen Endfläche eine Calotte bildet; dem entsprechend endigt der nach unten konisch zugehende Topf in einer negativen Calotte, welche aus demselben Mittelpunkt, wie die Birne, beschrieben ist. Der zerkleinerte Cement fällt aus dem unteren Theile des Topfes heraus. Damit Topf und Birne den möglich größten Widerstand gegen Verschleiß darbieten, sind diese Theile aus hartem Tiegelgußstahl gegossen; ebenso sind die Zapfen und die konischen Räder aus Gußstahl angefertigt.

Die Mörsermühle macht sowohl den Steinbrecher als auch das Walzwerk entbehrlich und liefert unmittelbar das Material für die Mahlgänge. Dieselbe liefert schon einen beträchtlichen Procentsatz an feinem Mehl, welches durch Absiebung gewonnen werden kann und also die Mahlgänge nicht mehr zu passiren braucht.

Die Mörsermühle wird von der oben genannten Fabrik in drei verschiedenen Größen gebaut, und richtet sich die Form der arbeitenden Theile nach dem verlangten Zwecke. Auch ist dieselbe in neuester Zeit wesentlich verbessert worden; eine derartige verbesserte Mörsermühle ist in der Lüdenscheider Portland-Cementfabrik in Brügge i. W. im Betriebe zur Vorzerkleinerung der gebrannten Cementschlacken; letztere werden in Stücken bis zu 10 und 12 kg Gewicht in den Mörser geworfen und bei 220 bis 250 Touren pro Minute und Kraftverbrauch

von 6 bis 8 Pferdekräften in zehnstündiger Schicht ca. 15,000 kg durchschnittlich soweit zerkleinert, daß 10 Proc. durch ein 900-Maschensieb, 25 Proc. durch ein 600-Maschensieb (per Quadratcentimeter) und der Rest des Materiales in Körnern bis zu 1/2 ccm fallen[1]).

Maschinen zum Feinmahlen des Cementes.

Als solche haben sich vorzugsweise die Mahlgänge bewährt und dieselben sind noch in den meisten Cementfabriken in Anwendung. Dieselben unterscheiden sich von den Kornmahlgängen nur wenig, sie müssen aber der großen Festigkeit des zu verarbeitenden Materials halber von vorzüglich hartem und zähem Stein sehr schwer hergestellt werden und der Korngröße entsprechend in der Schürfung genügend ausgearbeitet sein, um das Cementklein leicht einzuziehen. Die Steine werden so gestellt, daß der Cement in der gewünschten Feinheit den Mahlgang verläßt. Bei der Verwendung der Mahlgänge arbeitet man nach zwei Methoden: entweder wird das bloß durch einen Steinbrecher zerkleinerte Material direct dem Mahlgange zugeführt, und man verwendet möglichst große Steine von 1,5 m Durchmesser und darüber; oder es wird der Cement möglichst (durch Walzen) vorzerkleinert und man nimmt die Steine nicht so groß, ca. 1,4 m. Im ersten Falle müssen die Gänge sehr stark construirt sein und erfordern pro Gang zwischen 20 bis 30 Pferdekräften, im zweiten Falle reichen 8 bis 12 Pferdekräfte zum Betriebe eines Ganges aus.

Vortheilhafter ist es immer, dem Mahlgange ein feinkörniges Material zuzuführen, aus welchem man vorher durch Absiebung das genügend Feine bereits entfernt hat.

Bei 120 Touren per Minute und mit 10 bis 12 Pferdekräften vermag ein Mahlgang mit Steinen im Durchmesser von 1,4 m im Mittel 75 Tonnen oder 15 000 kg in 10 Arbeitsstunden zu einem genügend feinen Pulver zu verwandeln.

Der von den Mahlgängen kommende Cement ist heiß, die Temperaturerhöhung durch das Mahlen beträgt bis zu 50°; der Cement muß daher an der Luft zuerst abgekühlt werden, ehe er in die Tonnen verpackt wird.

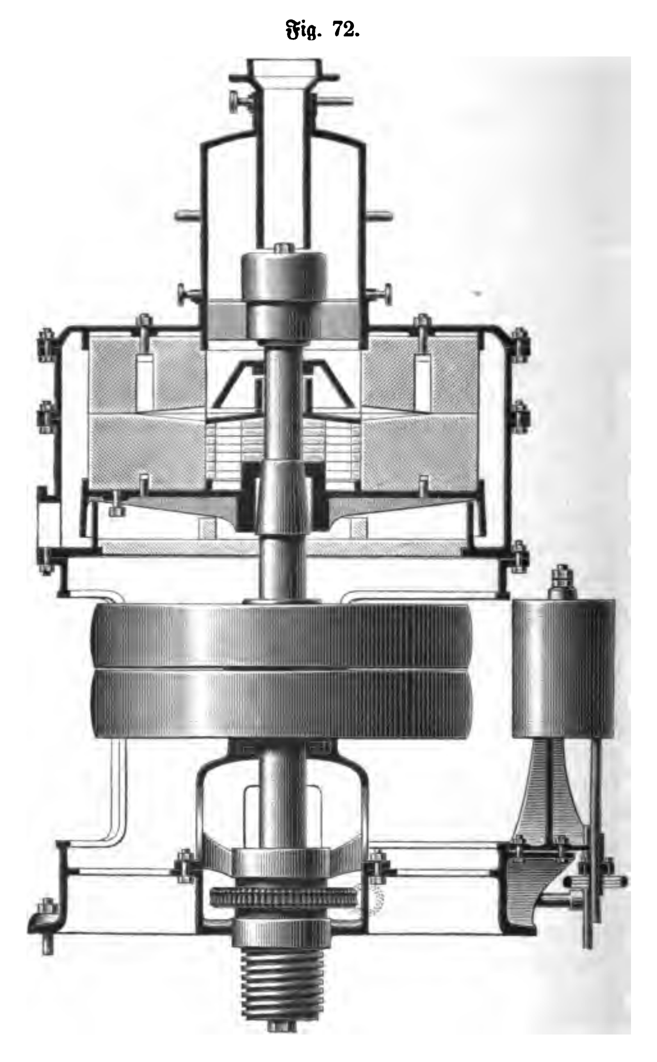
In der neueren Zeit hat der Mahlgang manche Umgestaltungen erfahren, man hat das Princip des oberläufigen Mahlganges zu verlassen gesucht, indem der vorgeschrittene Maschinenbau die traditionellen Constructionen des schwebenden oberen Läufers als durchaus unzweckmäßig für die ganze Arbeitsleistung der Maschine erkannte. Dafür hat man jetzt in mehreren Fabriken Unterläufer-Mahlgänge[2]) in Anwendung gebracht, wobei man den unteren Stein rotiren läßt, wodurch, da auf diese Weise das Mahlgut direct auf den Läufer fällt, ein rascheres Unterziehen desselben und eine schon damit verbundene größere Arbeits-

[1]) Thonind.-Ztg. 1881, S. 19.
[2]) Thonind.-Ztg. 1883, S. 360.

leistung erzielt wird, sowie auch ferner durch das Festlegen (natürlich beliebig verstellbar) beider Steine in achsialer Richtung eine größere Druckwirkung erreicht werden kann.

Fig. 72 veranschaulicht einen Unterläufer-Mahlgang für Cementmüllerei (Patent Uhlhorn), wie derselbe von der Maschinenfabrik und

Fig. 72.



Mühlenbauanstalt G. Luther in Braunschweig gebaut wird und wovon mehrere in der Portlandcementfabrik Germania zu Lehrte in Anwendung sind.

Das Mahlgut fällt auf den rotirenden Unterstein und wird durch die Centrifugalkraft rasch untergezogen und ausgeworfen; dadurch stellt sich die

quantitative Leistung desselben bedeutend höher — bis auf das Doppelte und darüber — als bei oberläufigen Gängen. Ein ganz wesentlicher Vortheil liegt in der zwangläufigen Führung des Läufersteines, und da mittelst der soliden Stellvorrichtung der Mühlenspindel die Steine jeden beliebigen Druck auf das Mahlgut ausüben können, ist man auch im Stande, die qualitative Leistung fast beliebig zu steigern, während hingegen bei Oberläufern der Druck der Steine durch das Gewicht des Läufers bedingt wird. Der Gang ventilirt sich selbst, indem die Flügel, welche sich an der Sohlplatte des Unterläufers befinden, einen raschen Durchzug der Luft bewirken. Es findet in Folge dessen ein relatives Kühlarbeiten des Ganges statt.

Der überall vorhandene hermetische Verschluß am Gehäuse verhindert jegliches Durchdringen des Staubes nach außen in den Fabrikraum, ebenso wie einem Verstäuben der Lager und anderer innerer gleitender Theile durch die besonders sorgfältige Construction und Abdichtung derselben vorgebeugt ist.

Die Justirung der Steine beim Hineinlegen nach dem Schärfen ist eine sehr leichte, da der Oberstein in dem eisernen Deckel des Gehäuses festgegossen ist, und letzteres eine genau normal zur Spindel gedrehte Auflege- und Abflußfläche hat, nach welcher mittelst Richtscheites der Stein genau bearbeitet werden kann. Der Unterstein wird nach einer um die Mühlspindel drehbaren Winkelvorrichtung behauen. Auf diese Weise ist eine fast mathematisch exacte Parallelführung der Steine ermöglicht.

Die Maschine wird mit Räder- und Riemenbetrieb geliefert. Der gute Gang des Riemens ist durch Anordnung von Leitrollen an der Transmission sowohl als an der Maschine selbst gesichert; und ganz besonders einfach gestaltet sich die Manipulation behufs An- und Abstellung des Ganges durch die eigenthümliche Beweglichkeit der an diesem selbst befindlichen Leitrollenachse, insofern als der Riemen auf diese Weise von der festen auf die lose Scheibe hinübergeführt wird, resp. umgekehrt. Der Gang kann dadurch bei Riemenbetrieb in größeren Werken behufs Schärfens der Steine ein- und ausgerückt werden, ohne daß die treibende Transmission stillsteht; ebenso kann derselbe leer laufen, ohne den Steinen irgend welchen Schaden zuzufügen, wenn letztere auch nur um eine Papierstärke von einander abstehen. Der Gang ist bequemer zu demontiren als ein Oberläufer, da keine Bütte abzuheben ist, sondern der Oberstein mit der eisernen Steinschale durch den Steinkrahn abgenommen wird.

Zur Vermeidung von Fatalitäten (Beschädigung des Mahlganges oder auch Betriebsstörungen) beim zufälligen Hineinfallen von fremden Gegenständen (Eisenstücke 2c.) sind an den Verbindungsstellen von Unter- und Obertheil Federungen eingeschaltet, welche unter genannten Umständen ein Ausweichen des Deckels mit dem Oberstein gestatten, so daß nichts beschädigt wird.

Vielfach sind noch zum Feinmahlen des Portlandcementes Verticalmühlen, sogenannte Kollergänge in Anwendung, deren Construction allgemein bekannt ist. Dieselben sind mit Anstreichern und Abstreichern versehen, um einestheils den Cement den Mühlsteinen wieder zuzuführen, anderentheils das fertige Pulver abführen zu können.

Die aufrechtstehenden Steine, meist von Gußeisen, seltener aus Granit, bedürfen eines Gewichtes von 50 bis 60 Centnern, aber auch dann liefern sie kein Material von gleichmäßig feinem Korn; es muß daher das von den Kollergängen kommende Material gesiebt werden und das Siebgrobe von Neuem aufgeschüttet werden.

Man hat Kollergänge, bei welchen die Bahn, auf den die Kollersteine laufen, fest liegt und die Kollersteine (Läufer) auf derselben rotiren, und solche, bei welchen die Kollerbahn rotirt, die Kollersteine (Läufer) dagegen auf einer und derselben Stelle bleiben und sich um eine Achse drehen.

Die Kollerbahnen haben gewöhnlich keine Durchbrechungen, sie werden aber auch zuweilen durchbrochen verwendet, so daß das zerkleinerte Material direct durch die Kollerbahn hindurchfällt. Bei Kollerbahnen ohne Durchbrechungen liegt rund um den Theil der Kollerbahn, auf welcher das Mahlen des Mahlgutes stattfindet, ein Sieb; hierbei geht dann hinter jedem Kollersteine ein Transportirapparat, welcher permanent das sämmtliche Material sofort, nachdem der Kollergang darüber hinweggegangen ist, nach außen auf das rund um die Kollerbahn liegende Sieb bringt und das zu Grobe, welches durch das Sieb nicht durchgefallen ist, gleich wieder zurück, mitten unter den zweiten Kollerstein schafft[1]).

Das genügend zerkleinerte Product wird daher in beiden Fällen sofort nach erfolgter Zerkleinerung von dem Kollergange fortgeschafft, wodurch eine viel größere Leistung erzielt wird.

Ein weiterer Unterschied besteht noch darin, je nachdem der Radbetrieb der Kollergänge von unten oder von oben erfolgt.

In der neuesten Zeit sind Apparate als Ersatz für die Mahlgänge construirt worden, welche auch schon mit mehr oder weniger günstigem Erfolge in der Cementindustrie Anwendung gefunden haben. So werden von den Fabrikanten Nagel u. Kämp in Hamburg jetzt Walzwerke zum Feinmahlen hergestellt, welche nach den bisher gemachten Erfahrungen eine außerordentlich große Leistungsfähigkeit besitzen und den Mahlgängen gegenüber eine bedeutende Kraftersparniß ermöglichen. Diese Feinwalzen zur Erzeugung von Cementmehl mit 750 mm Durchmesser und 450 bezw. 300 mm Breite bestehen aus Coquillenhartguß mit sauber abgedrehter und geschliffener Manteloberfläche. Für die Zuführung des Mahlgutes sind geeignete regulirbare Speiseapparate vorgesehen[2]).

Eine andere Zerkleinerungsmaschine, bei welcher das Material nicht zerdrückt, sondern zerschlagen wird, ist die Vapart'sche Schleudermühle, eine Anwendung der Rittinger'schen Schleuderscheibe in verbesserter Form von C. Mehler in Aachen (D. R.-P. Nr. 364 vom 6. September 1877[3]). Dieselbe (Fig. 73) besteht aus einem feststehenden, verticalen Cylinder, in dessen Mitte sich eine Welle *A* befindet, welche, aus der Fußplatte des Cylinders hervorragend, in einem Spurlager läuft, oberhalb des Cylinderdeckels von einem Halslager

---

1) Derartig construirte Kollergänge baut die Maschinenfabrik Ph. Groke in Merseburg.

2) Thonind.-Ztg. 1881, S. 160 u. 1882, S. 286.

3) Notizbl. f. Fabrik. v. Ziegeln ꝛc. 1877, S. 164.

gehalten wird und die Riemenscheibe trägt, mittelst deren sie getrieben wird. Auf dieser Welle befinden sich im Cylinder drei stählerne Scheiben (Teller) $B\,B^1\,B^2$, auf welchen am äußeren Rande eine Anzahl Schlagwinkel *b b b*... angeschraubt sind. Die Cylinderwand ist im Innern mit gezahnten Segmenten *c c c*... bekleidet, welche, aus verschiedenen Stücken bestehend, mit Schrauben befestigt sind. Zwischen diesen Segmenten befinden sich gleichfalls aus verschiedenen Theilen

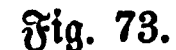
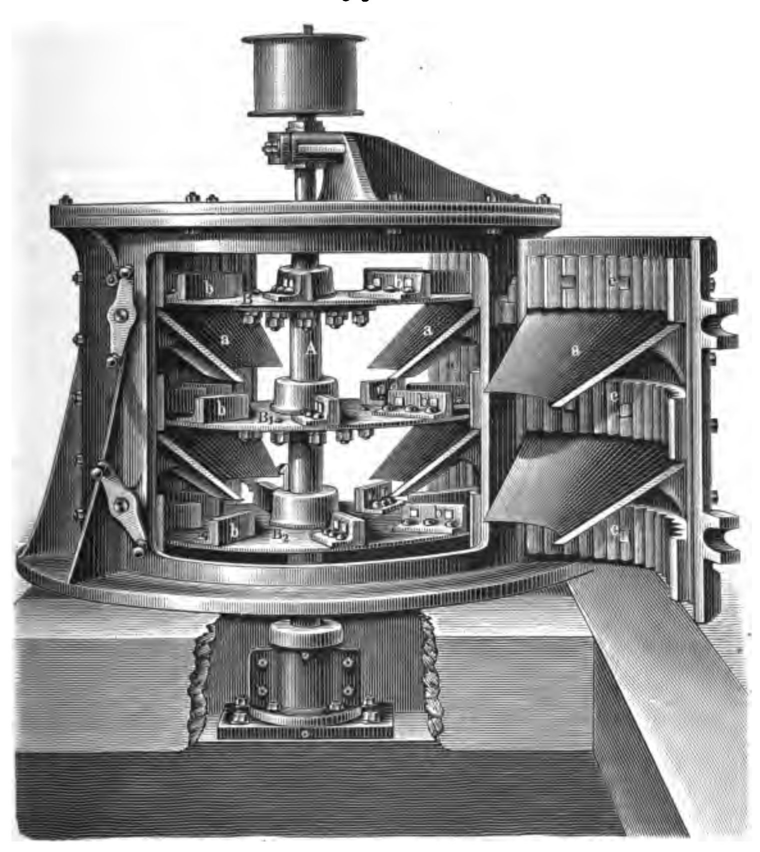


Fig. 73.

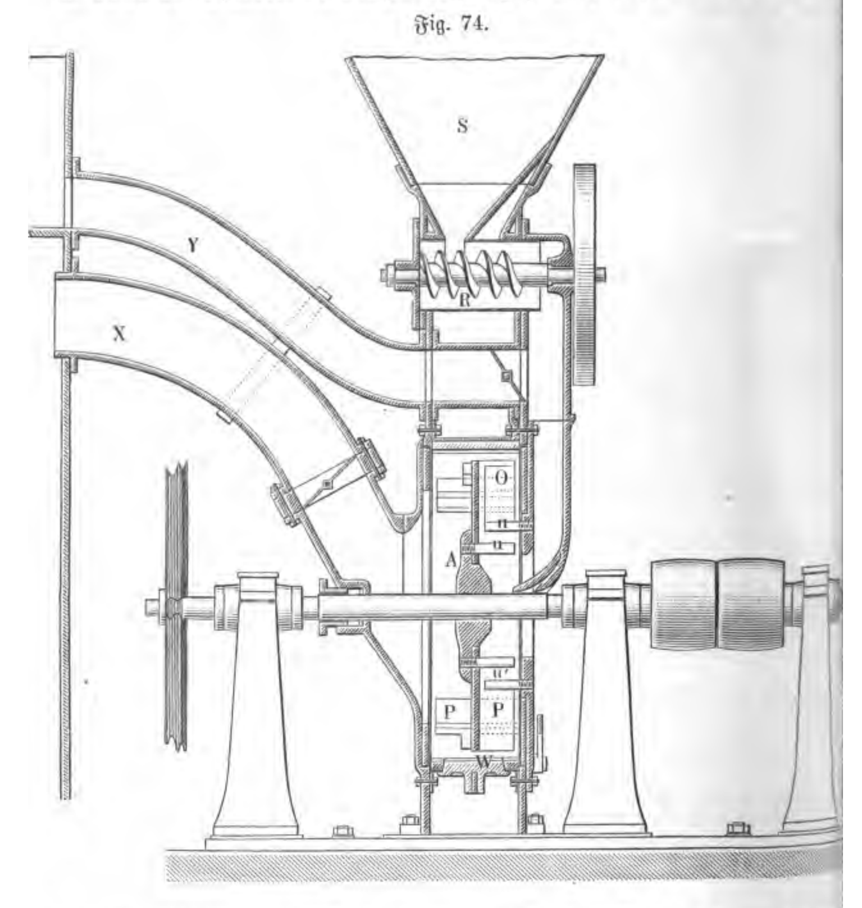


bestehende und an die Cylinderwand geschraubte Trichter *a a*. Im Cylinderdeckel und in der Fußplatte befindet sich je eine Oeffnung.

Die Wirkungsweise der Mühle ist folgende: Nachdem die Thüren, durch welche das Innere der Mühle bequem zugänglich gemacht ist, geschlossen sind, wird dieselbe mittelst eines Riemens gedreht, so daß die Welle mit den Tellern und den aufgeschraubten Schlagwinkeln 500 bis 800 Umläufe per Minute, je nach der Beschaffenheit des zu zerkleinernden Cementes, macht. Der zerkleinerte Cement durch die am Cylinderdeckel befindliche Oeffnung aufgegeben, wird

von den Schlagwinkeln der obersten Scheibe zerschlagen und gegen die mit Segmenten von Hartguß bekleidete Cylinderwand geschleudert. Durch die einen Trichter bildenden Segmente *a* wird der bereits zerkleinerte Cement dann auf die Mitte der zweiten Scheibe geführt, hier und auf der dritten Scheibe wiederholt sich der Zerkleinerungsproceß. Der gemahlene Cement fällt dann aus der im Boden des Cylinders befindlichen Oeffnung heraus; derselbe wird von einem

Fig. 74.



Elevator auf ein über der Schleudermühle angebrachtes Sieb gehoben und fallen die nicht fein genug gemahlenen Rückstände direct wieder auf die Schleudermühle zurück.

Die Scheiben und Schlagwinkel *b*, welche letztere wie Hämmer wirken, sind von Gußstahl, die gezahnten Segmente *c*, welche die Cylinderwand bekleiden, von Hartguß. Alle diese Theile können sehr rasch und leicht ausgewechselt werden.

Mit der Vapart'schen Schleudermühle Nr. 2, Durchmesser des Cylinders 1,3 m und 600 bis 800 Umdrehungen in der Minute, können von einem harten

gebrannten Cement 1000 bis 1200 kg per Stunde fein gemahlen werden bei einem Kraftverbrauch von 8 bis 12 Pferdekräften.

Bei dem Pulverisirapparat mit theilweise circulirender Luft, von Dr. W. Michaëlis[1]) (D. R.-P. Nr. 14194 vom 5. October 1880), wird der Cement vom Fülltrichter *S* (Fig. 74) aus durch die Schnecke *R* der sich in einem Gehäuse drehenden Scheibe *A* zugeführt. Die an dieser befindlichen Schlagstifte *u* zerkleinern den Cement, indem sie ihn gegen entsprechende Stifte u^1 am Gehäuse werfen. Die zerkleinerten Stücke kommen zwischen die Windflügel *O* und auf die Schläger *P*, von denen sie gegen die geriffelten Platten *W*, welche den Umfang des Gehäuses bilden, geschleudert werden. Die feineren Theile werden hierbei durch den Zug, welchen der Apparat erzeugt, fortgetragen und durch das Rohr *X* in eine Staubkammer geführt. Dieselbe besteht aus einem mit Zeug überspannten großen Kasten mit schiefen Ebenen. An diesen fallen die gröberen Theile beim Anprallen des Staubes hinab und werden dann durch eine Schnecke nach außen geführt. Durch Rohr *Y* kann die Luft theilweise wieder in den Apparat zurückgelassen werden.

Nach Prüssing[2]) ist diese Maschine in Vorwohle probirt worden, hat sich jedoch nicht bewährt. Sie erforderte nicht nur einen großen Kraftverbrauch, sondern nützte sich auch schnell ab; das dadurch erzielte Cementmehl war allerdings sehr fein.

Der Mahlapparat für Cement (D. R.-P. Nr. 3296 und 10373) von Jak. Kalff, Cementfabrikant in Aachen, Fig. 75 (a. f. S.), besteht aus einem Brechapparat und einem Pulverisirapparat[3]).

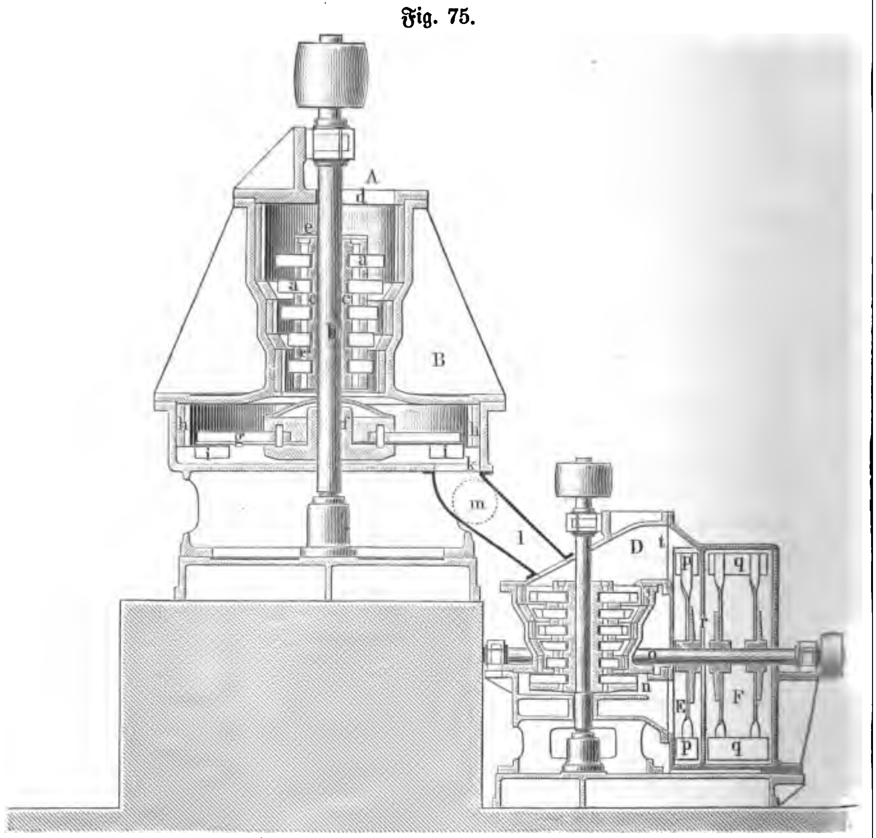
I. Der Brecher, welcher zum Vorbrechen der großen Stücke dient, besteht aus einem viereckigen, etagenförmigen, gußeisernen Kasten *A* und einem cylinderförmigen gußeisernen Gehäuse *B*. In dem ersteren rotiren die um den Drehzapfen schwingenden Hämmer *a*, auf der verticalen Achse *b* sitzt eine Gußnabe *c* mit vier Zapfen e^1 versehen, um welche in verschiedenen Höhen die Hämmer schwingen. Das zum Vorbrechen bestimmte Material wird durch eine im Deckel des viereckigen Kastens befindliche Oeffnung *d* aufgegeben, von den beim Rotiren radial stehenden Hämmern zerschlagen und gegen die an den inneren Seiten des Kastens befestigten Zähne *e* geschleudert, wobei wiederum ein Zerkleinern stattfindet. Da das Material nach unten hin fortschreitend, immer mehr zerschlagen wird und zum Zerkleineren weniger Kraft erfordert, so sind die Hämmer derart angeordnet, daß ihre Länge und Schwere stetig abnimmt. Mit der Abnahme der Hammerlänge ist ein Einziehen des gußeisernen Kastens bedingt, und es ist der Uebergang von einem Viereck zum anderen trichterförmig hergestellt. Damit das Material aus einem Viereck in das andere durch den Trichter nicht zu rasch abfällt, sind in gleicher Höhe mit letzterem ebenfalls Hämmer angebracht, welche das Material zum großen Theil wieder nach oben schleudern und ein mehrmaliges Ergreifen durch die darüber liegenden Hämmer ermöglichen.

---

[1]) Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1881, S. 516.
[2]) Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1882, S. 641.
[3]) Thonind.-Ztg. 1881, Nr. 52.

Das auf diese Weise bereits stark zerkleinerte Material gelangt auf die im Gehäuse *B* befindliche Schleuderscheibe, welche aus einer kreisrunden Eisenplatte besteht, die vermittelst einer Gußnabe *f* auf der verticalen Achse befestigt ist. Auf dieser Scheibe befinden sich sechs Gußstahlschläger *g*, welche um die in die Nabe *f* eingesetzten Zapfen drehbar sind und auf der Platte lose aufliegen. — Die Drehbarkeit der Schläger sowohl als der vorhin genannten Hämmer, welche beim Rotiren radial stehen, ermöglicht bei starkem Widerstande ein Zurückweichen der-

Fig. 75.



selben und verhindert somit ein Klemmen größerer Stücke zwischen Schläger resp. Hämmer und Zähne. — Die Schläger erfassen das auf die Schleuderscheibe gelangte Material und schleudern es gegen die an der inneren Seite des Cylindermantels befestigten Zähne *h*, wo dasselbe so weit zerkleinert wird, um durch den Zwischenraum zwischen Scheibe und Zähnen auf den Boden des Gehäuses zu gelangen. Die unter der Scheibe befestigten Schaber *i* bringen das so zerkleinerte Material durch die Austrittsöffnung *k* im Boden des Gehäuses in eine Zuleitungsröhre *l* zum Pulverisirer. An dieser Röhre ist eine Abzweigung *m* nach der Pulverkammer behufs Abfuhr des im Brecher erzeugten Luftstromes vorgesehen.

II. Der Pulverisirapparat besteht aus drei Haupttheilen:

1. einem Pulverer D
2. einem Aufgeber E
3. einem Absauger F.

Dem Pulverer fällt die Aufgabe zu, das ihm vom Brecher vorzerkleinerte Material in Pulverform zu verwandeln, dem Absauger das Staubfeine der Kammer zuzuführen, dem Aufgeber, das nicht Staubfeine dem Pulverer wieder zurückzugeben.

Die Einrichtung des Pulverers ist die genaue Nachahmung des Brechers, nur in allen Theilen schwächer, kleiner und in seinen zermalmenden Theilen dichter zusammengedrängt ausgeführt. Beim Ausfall des Materials unterhalb der Schleuderscheibe gelangt dasselbe durch den Canal n in den Aufgeber. Dieser sowie der Absauger bestehen aus einer gußeisernen Trommel. Auf der in letzterer horizontal gelagerten Achse o sind die beiden Lufträder p und q befestigt. Werden die Lufträder in Rotation versetzt, dann saugt das Luftrad q, welches als Exhaustor wirkt, das aus dem Canal n austretende, in Pulverform übergeführte Material durch die centrale Oeffnung r, welche sich in der Scheidewand zwischen Aufgeber und Absauger befindet, ab und befördert es in die Pulverkammer. Das im Canal austretende, nicht gefeinte Pulver, fällt, da es zu schwer ist, um durch die Saugkraft des Exhaustors abgesogen zu werden, auf den Boden des Aufgebergehäuses. Hier wird es von den Schaufeln des Aufgebers, welcher gleich dem Exhaustor rotirt, erfaßt, an der Peripherie des Gehäuses hochgeschleudert, und durch die Oeffnung t dem Pulverer wieder zurückgegeben. Die Tourenzahl des Brechers und Pulverers richtet sich nach der Härte, die Tourenzahl vom Aufgeber und Absauger nach der geforderten Feinheit des zu verarbeitenden Materials.

Das sowohl vom Exhaustor als von der Zuleitungsröhre l aus der Kammer übergebene Mahlgut führt größere Quantitäten Luft mit, und ist die Anordnung getroffen, eine Luftpressung im Inneren der Kammer dadurch zu verhindern, daß 1. ein Zurückführen der Luft aus der letzteren nach dem Mahlapparat und 2. ein Entweichen der Luft ins Freie bei vorheriger Reinigung derselben von allen Staubtheilchen angeordnet ist.

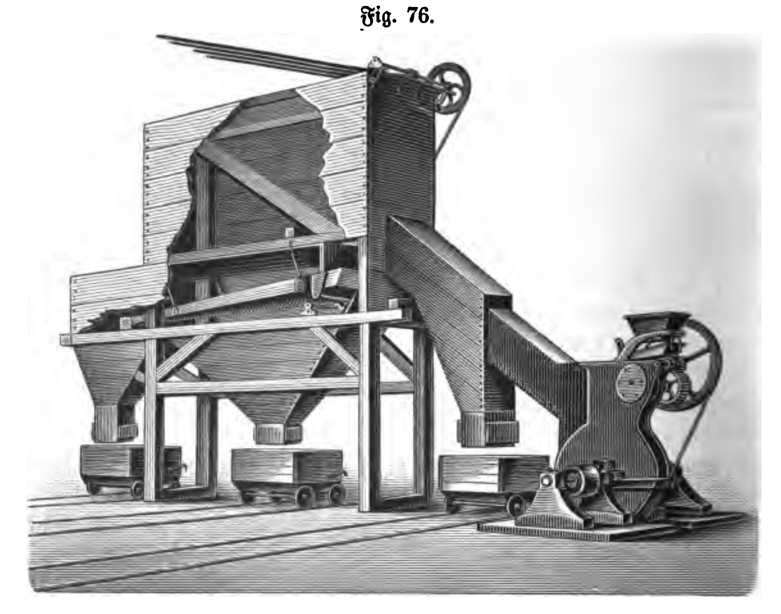
Bei äußerst hartem, schwer zu pulverndem Material sind bei Aufstellung eines Brechers mehrere Pulverisirapparate erforderlich. Ueber die in eine Reihe aufzustellenden Pulverisirer ist eine horizontal liegende Schnecke angeordnet, welcher das im Brecher vorgebrochene Material zugeführt wird. Im Boden des Schneckengehäuses sind durch Schieber regulirbare Austrittsöffnungen angebracht, durch welche den Pulverisirapparaten das nöthige Quantum Material stetig zugeführt wird. Ein etwaiger Ueberschuß wird durch die Schnecke weiter geführt und in einem besonderen Raume der Pulverkammer abgelagert. Genannte Schnecke dient zugleich als Ableitungscanal des im Brecher erzeugten Luftstromes zur Pulverkammer, dabei wird ein Theil staubfeines Material direct der Kammer übergeben, ohne die Pulverisirer zu passiren.

Wird ein Mahlgut verlangt, in welchem ein Theil grobes Pulver enthalten sein kann, dann genügt der Pulverer D ohne Aufgeber und Absauger. Die

Pulverer schleudern das Gefeinte dann in eine gemeinschaftliche Siebvorrichtung zum Absieben des gewünschten Korns, oder aber auch ohne letztere direct in die Pulverkammer.

Bei der Pulverisirmaschine (Patent Meihé) der Maschinenfabrik H. Gruson in Buckau-Magdeburg besteht die Haupteigenthümlichkeit darin, daß zwei eigenartig geformte Schleuder- resp. Flügelräder, auch Schlagkreuze genannt, einerseits das Material zerkleinern, andererseits aber als Ventilatoren wirken und das Pulver durch einen Rohraufsatz in eine Staubkammer abführen, Fig. 76. Letztere enthält mehrere Abtheilungen, in deren einer sich das fertige Mahlgut

Fig. 76.



ansammelt, während die anderen das gröbere Product aufnehmen, welches der Maschine zur weiteren Vermahlung von Neuem wieder zugeführt wird. Um ein gleichmäßig feines Mehl zu erhalten, ist in der Staubkammer ein Schüttelsieb angebracht.

Die Flügelräder, welche sich in einem gußeisernen Gehäuse mit großer Geschwindigkeit neben einander in entgegengesetztem Sinne drehen, sind aus Stahlguß angefertigt und an den Enden mit gehärteten leicht auswechselbaren Stahlschlagschuhen versehen, Fig. 77. Sie sind so geformt, daß die Stücke des aufgegebenen Materials möglichst nach der Mitte geschleudert und durch die Schläge, sowie durch die gegenseitige Reibung zerkleinert werden. Zugeführt wird das zu pulverisirende Material mittelst einer Schüttelaufgabe und einer Speisewalze, welche zugleich den staubdichten Abschluß des Mahlgehäuses bewirkt. Die Stärke des Luftzuges, resp. der Luftzutritt ist durch einige am Gehäuse angebrachte Schieber regulirbar. Die Leistung ist wie beim Mahlgange auch bei dieser Pulverisirmaschine um so größer, je mehr das Material vorzerkleinert ist.

Die Frage, ob die Art und der Grad der Zerkleinerung des Cementes auf die Bindekraft von Einfluß ist, war mehrmals Gegenstand einer eingehenden Erörterung in den Generalversammlungen des Vereins deutscher Cementfabrikanten[1]), welche zu folgenden für die Praxis wichtigen Ergebnissen führte. Aus Tomei's Versuchen im Großen hat sich ergeben, daß ein Einfluß auf die Bindekraft des Cementes durch die verschiedene Art der Zerkleinerung nicht ausgeübt wird, sofern der Feinheitsgrad nur annähernd derselbe ist. Es wurden 700 bis 800 Tonnen feiner Cementgries innig gemischt und davon ein Theil auf Mahlgängen von 1,308 m Durchmesser bei 110 Umgängen in der Minute vermahlen, der andere auf Mahlwalzen von Nagel und Kämp in Hamburg zerdrückt. Die erstere Art war somit ein Beispiel für das Zerreiben, die zweite für das Zerdrücken des Cementes. Die Bindezeit war bei beiden Proben dieselbe, nämlich zwei Stunden, ebenso die Erwärmung beim Abbinden. Der Cement von den Mahlgängen zeigte einen Rückstand von 15,74 Proc. auf dem 900-Maschensieb und von 21,15 auf dem 5000-Maschensieb, zusammen also von 36,89 Proc. Die absolute Festigkeit betrug für reinen Cement nach 7 Tagen 30,1 kg und nach 28 Tagen 33,8 kg per Quadratcentimeter, für die Normalprobe mit drei Theilen Sand nach 7 Tagen 12,2 kg und nach 28 Tagen 17,3 kg per Quadratcentimeter. Der von den Walzen erhaltene Cement hatte einen Rückstand von 13,63 Proc. auf dem 900-Maschensieb und von 23,44 Proc. auf dem 5000-Maschensieb, zusammen von 37,07 Proc., also fast dieselben Siebrückstände wie der Cement von den Mahlgängen. Die absolute Festigkeit des gewalzten reinen Cementes betrug nach 7 Tagen 26,6 kg und nach 28 Tagen 34,6 kg, für die Normalprobe mit drei Theilen Sand nach 7 Tagen 11,5 kg und nach 28 Tagen 17,7 kg. Ein Unterschied der Festigkeit bei verschieden zerkleinertem Cemente von gleicher Feinheit und Bindezeit ist also nicht vorhanden.

Fig. 77.



Schiffner fand, daß bei demselben Cement die Zerkleinerung durch die Schleudermaschine gegenüber derjenigen auf Mahlgängen einen Unterschied in der Festigkeit ergab. Der auf der Schleudermaschine zerkleinerte Cement hatte durchschnittlich bei der 28-Tagesprobe eine 50 Proc. höhere Festigkeit als der von den Mahlgängen fallende, was sich dadurch erklärt, daß der durch Schleudermaschinen zerkleinerte Cement einen höheren Procentsatz an feinem Korn ergiebt. Von

[1]) Notizbl. f. Fabrik. v. Ziegeln zc. 1878, S. 115; 1879, S. 167; 1880, S. 107. Thonind.-Ztg. 1881, S. 159.

H. Delbrück wurde betont, daß gerade der Procentsatz des allerfeinsten Pulvers von großer Bedeutung ist in Bezug auf die Festigkeit des Cementes mit Sandzusätzen. In Züllchow bei Stettin wurden die Proben, um den Einfluß der feinsten Cementkörnchen beurtheilen zu können, in der Weise gemacht, daß man Mischungen von gewöhnlichem, schon sehr feinem Cement einerseits und andererseits von den allerfeinsten Staubkörnchen, welche durch die Sauggebläse in die Sammelröhren fortgetrieben werden, machte. Da zeigte sich bei procentualen Zusätzen auch die bedeutende Zunahme in der Festigkeit, welche die Sandproben durch feineres Cementkorn erfahren.

Um einen Cement mit normengemäßer Feinheit herzustellen, bedarf man Siebvorrichtungen; dieselben sind gewöhnlich Cylindersiebe, welche ganz denen der Kornmühlen entsprechen, nur müssen sie, dem Material angemessen, stark aus Metalldrahtgeweben construirt sein; die Leistung dieser Siebe ist eine geringe, denn ein Cylindersieb von $7^1/_2$ qm Fläche liefert pro 20 Stunden nicht über 150 Tonnen, d. i. pro Quadratmeter in einer Stunde gleich einer Tonne Cement. Wesentlich besser sind dagegen die von Nagel u. Kämp construirten Rüttelsiebe, deren Leistung bei 0,9 qm Fläche gleich 150 Tonnen Cement pro 20 Stunden ist; auch nimmt dieses Rüttelsieb wenig Raum ein und neigt lange nicht so zum Stäuben wie ein Cylindersieb [1]).

Dieses Schurrsieb (Rüttelsieb) der Herren Nagel u. Kämp in Hamburg (D. R.-P. Nr. 14461 vom 25. December 1880) unterscheidet sich von den gewöhnlichen Schüttelsieben durch mehrfache Regulirbarkeit, welche sich erstreckt auf: Veränderung der Neigung des Siebes, Veränderung der Intensität der Schüttelung (Rüttelung) und Verstellbarkeit der Größe der wirksamen Siebfläche. Die Grenzen erwähnter Regulirungsfähigkeit sind die weitest zulässigen. Es ist gleichzeitig die schärfste Einstellung in jedes Zwischenstadium, und zwar während des Betriebes ermöglicht.

In Fig. 78 ist Seitenansicht bezw. senkrechter Schnitt durch ein Sieb dargestellt.

Fig. 79 giebt die Seitenansicht eines derartigen Siebes in mehr schematischer Darstellung.

Fig. 80 (a. S. 162) ist der Grundriß von Fig. 78.

Fig. 81 (a. S. 162) ist der Querschnitt durch das Sieb nach x bis y in Fig. 80 an der Stelle des Auslaufes.

Fig. 82 (a. S. 163) ist ein äußeres Bild des Siebes.

Der Siebrahmen s ruht mit seinen Längsbalken auf Schlagrädern n; dieselben sitzen auf einer Welle o fest und drehen sich mit einer dem jeweiligen Zwecke entsprechenden Geschwindigkeit. Dabei wird der im Zapfen p aufgehängte Siebrahmen in rüttelnde Bewegung gesetzt. Die Größe der Fläche und damit die Intensität der Rüttelung des Siebrahmens kann in den allerfeinsten Grenzen variirt werden durch Heben oder Senken des mit elastischem Buffer a^1 versehenen Aufschlagstückes b. Dem elastischen Buffer a^1 auf dem Querschnitte b entspricht ein gleicher elastischer Buffer a unter dem Siebrahmen; das Heben und Senken

[1]) Bernoully, Thonind.-Ztg. 1882, S. 295.

Fig. 78.

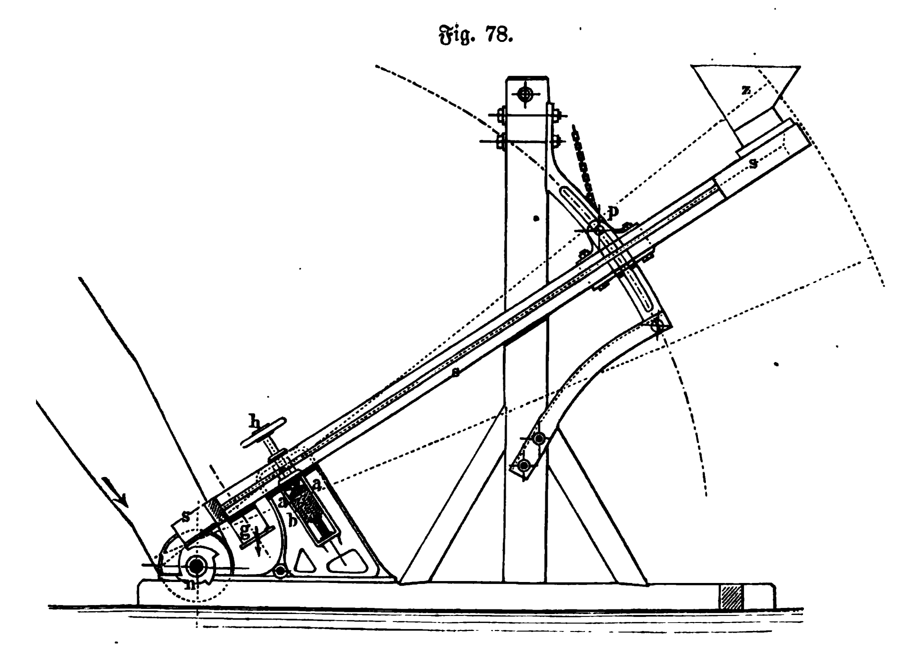
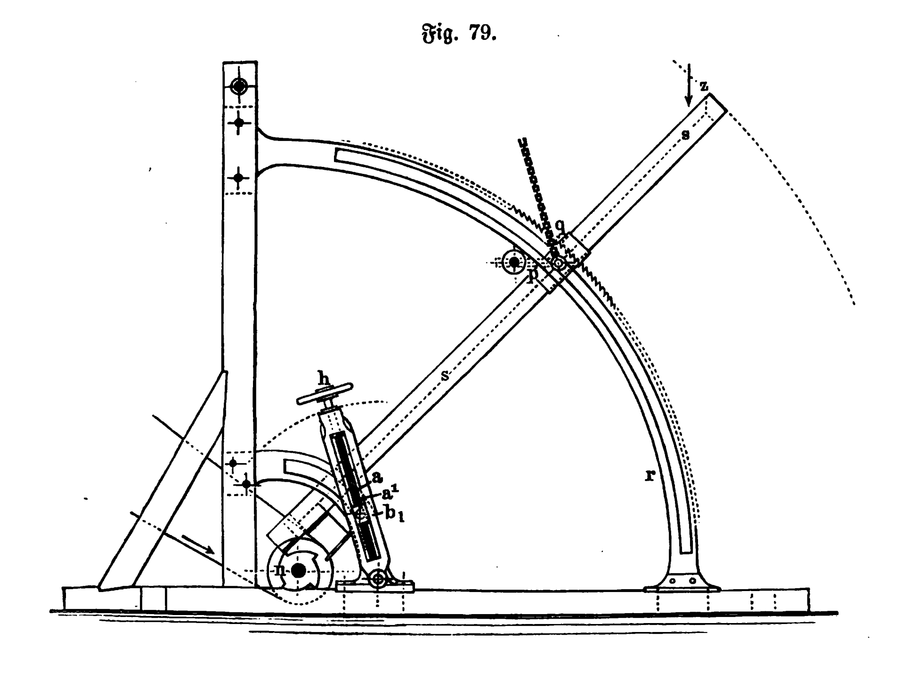
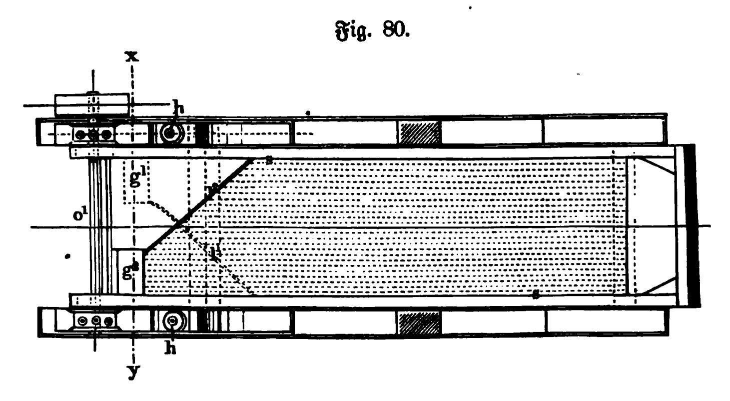


Fig. 79.



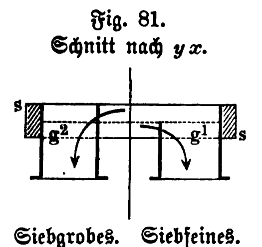
des Querstückes *b* erfolgt durch Schrauben und Handräder *h*. Die Rüttelungsintensität ändert sich mithin je nach der zwischen *a* und a^1 hergestellten Entfernung. Das Rütteln kann durch Heben von *b* vermindert, sogar ganz aufgehoben, andererseits durch Senken von *b* auf das überhaupt zulässige Maximum gebracht werden.

Fig. 80.



Die Schwingungszapfen *p* des Siebrahmens lassen sich, unter Benutzung von Ketten (wie bei der Zeichnung angenommen) oder von Zahnkranz und Getriebe, von Klemmbacken mit Schraube, von Sperrzahnmechanismen oder auf beliebige andere bekannte Art, höher oder tiefer hängen, je nach Bedarf, was einer Veränderung des Siebflächenneigungswinkels gegen die Wagerechte entspricht. Dieser Winkel ist constructiv an keine Grenzen gebunden; selbstredend ändert sich mit ihm auch die Höhenlage des Querstückes *b*. Dasselbe, welches die unteren elastischen Kissen a^1 trägt, lagert man im Falle sehr weiter Grenzen jenes Neigungswinkels z. B. in Coulissensteinen und combinirt mit diesen Muttern b^1, durch welche die Stellspindeln der Handräder *h*, Fig. 79, hindurchgehen. Es ist in Fig. 79 *q* eine (auf jeder Seite wiederkehrende) Sperrklinke, verbunden mit einem Gewichtshebelarme; dieselbe greift in die auf dem Stellbogen *r* vorgesehenen Sperrzähne ein.

Fig. 81.
Schnitt nach *yx*.



Siebgrobes. Siebfeines.

Bei *z* gelangt das zu siebende Gut auf das Sieb, welches nach Befinden beim Absieben stäubender Materialien allseitig abgedeckt wird; am unteren Ende des Siebes fällt bei g^1 das Siebfeine, bei g^2 das Siebgrobe heraus; l^1 ist eine untere, l^2 eine obere, schräg eingesetzte Leitwand, welche beide das gesonderte Gut nach erwähnten Oeffnungen hinleiten.

Die beiden Handräder *h*, mit denen die elastische Unterlage a^1 zur Verminderung oder Verstärkung der Schlagheftigkeit gehoben oder gesenkt werden kann, können jedes für sich (also unabhängig von einander) verstellt werden; ebenso gilt dies von den Schwingungszapfen *p*, deren Höhenlage die Neigung der

Siebfläche bestimmt. Damit ist ein sehr bequemes Mittel gegeben, um die abzusiebende Masse entweder, und zwar bei horizontaler Lage von *p* und *b*, gleichmäßig über die ganze Siebfläche zu vertheilen, oder um bei geneigter Lage von *p* beziehungsweise *b* zu bewirken, daß die Siebmasse sich nur nach einer Seite hinzieht, was alsdann gleichbedeutend ist mit einer Reduction der wirksamen Siebfläche.



Fig. 82.

Auch läßt sich, wenn *p* einerseits, *b* andererseits in verschiedenem Sinne geneigt werden, das Sieb so legen, daß es eine windschiefe Fläche bildet, in welchem Falle das Siebgut schräg über das Sieb rutscht.

Diese Siebconstruction mit stellbarer Neigung, stellbarer Rüttelungsstärke und stellbarer Größe der wirksamen Siebfläche bietet u. A. den Vortheil, daß mit einer und derselben Siebfläche beziehungsweise Feinheit der Sieböffnungen je nach Bedürfniß grob oder fein gearbeitet werden kann und daß man es durch leicht zu bedienende Stellvorrichtung ganz in der Hand hat, das Sieb so zu justiren, wie es bei gegebenem Gut und bei verlangter Korngröße des Siebfeinen richtig ist.

Dieselbe gewährt auch für harte, die Siebfläche stark abnutzende Körper noch den besonderen Vortheil, daß man auch unter Anwendung einer grob gelochten Siebfläche, und zwar vermittelst größerer Steilstellung des Siebes, sowie durch Anwendung schwächerer Rüttelschläge Producte von großer Feinheit erlangen und damit also eine längere Dauerzeit jedes einzelnen Siebes erwirken kann. Zu bemerken ist noch, daß die Bespannung des Siebes aus perforirtem Stahlblech besteht.

5. Verpackung und Lagerung des gepulverten Portlandcementes.

Der genügend fein gepulverte Portlandcement wird in Tonnen oder Säcken verpackt; die Tonnen haben in der Regel 180 kg Brutto- und 170 kg Nettogewicht, die Säcke meistens 70 kg Nettogewicht.

Ist ein Cement von durchweg gleicher Zusammensetzung ganz gleichmäßig gebrannt, so kann man das Pulver in demselben Maße, als es erzeugt wird, direct verpacken, indem man die Tonne unter die Siebwerke stellt und das einfallende Pulver durch eine Schüttelvorrichtung sich durch seine eigene Schwere fest einpacken läßt.

Da aber in den meisten Fällen, namentlich beim Brennen im Schachtofen, die einzelnen Steine nicht gleichmäßig gebrannt sind, so empfiehlt es sich, um ein Material von durchweg gleicher Qualität zu erhalten, den ganzen Ofeninhalt nach dem Pulvern aufzuschütten, das Pulver möglichst durchzumischen und dann erst zu verpacken. Oftmals wird aber auch der gepulverte Cement aufgespeichert und erst nach einiger Zeit verpackt.

Jede Tonne soll innen durchweg mit Packpapier ausgeschlagen sein, um zu verhüten, daß der stark hygroskopische Cement die Feuchtigkeit aus dem Holze heraussauge und in Folge der Zusammentrocknung des Holzes streue oder bereits in der Tonne erhärte.

Die Versendung des Cementes in Säcken ist nach G. Dyckerhoff um etwa 10 Proc. billiger als die in Fässern und verdrängt daher die letztere mehr und mehr; es müssen nur die Säcke trocken gehalten und trocken gelagert werden. Das Gewicht von 70 kg netto, welches man den Säcken giebt, entspricht dem Maßtheil von 0,5 hl, so daß man auf der Baustelle den Cement nicht mehr auszumessen braucht.

Zur Verpackung des Cementes sind auch Papiertonnen empfohlen worden, aber ihrer allgemeineren Einführung steht der hohe Preis und das beträchtliche Gewicht entgegen.

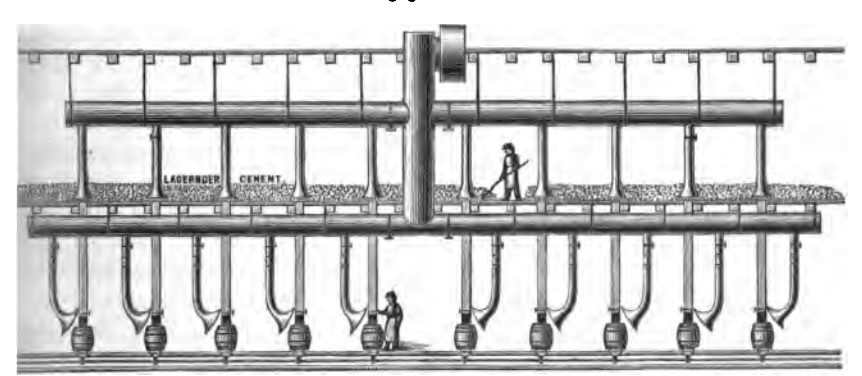
L. Erdmenger hat eine Einrichtung zum staubfreien Packen beschrieben, welche in Fig. 83 veranschaulicht ist[1]). Dieselbe hat namentlich die maschinelle Portland-Cementpackerei im Auge, die ja in großen Fabriken täglich große Quantitäten zu bewältigen hat. Das Faß ruht hierbei auf einem vier-

[1]) Deutsche Gewerbeschau 1882, S. 119.

ckigen oder runden Brettstück, das von unten durch eine geeignete, mit der Trans-
nission in Verbindung stehende Vorrichtung in fortwährender rüttelnder Be-
vegung erhalten wird, wodurch sich der von oben durch ein mit Klappe versehenes Füllrohr einfallende Cement von selbst einrüttelt. Bei dieser Arbeit haben sowohl ie unten stehenden Arbeiter, welche den Cement durch Regulirung der Klappe ulaufen lassen, viel von dem Staube zu leiden als auch die oben in der ersten Etage stehenden Arbeiter, die den Cement in die Füllröhren ziehen.

Bei Erdmenger's Vorrichtung zum staubfreien Packen wird er Staub mittelst Fangschüsseln an den staubenden Stellen aufgefangen, durch aran sich schließende enge Röhren aufgesogen und aus diesen sodann in ein weites Sammelrohr befördert. Durch dort sich verlangsamenden Luftstrom legt sich fast aller Staub nieder. Bei hinreichender Ausdehnung der Leitung und genügender Weite des horizontalen und des aufsteigenden, nach dem Exhaustor hinführenden Sammelrohres ist der Verlust an Material ein ganz minimaler; überdies wird

Fig. 83.



keineswegs aller Staub eingesogen. Ein Hauptantheil wird vielmehr nur durch den Luftstrom in der Mündungsnähe der Fangschüsseln zurückgehalten, also nur am freien Umherfliegen im Raume verhindert.

Die Wirkungsweise des Apparates ist aus der Zeichnung leicht ersichtlich. Oben rechts sitzt der Exhaustor. An diesen schließt sich das weite aufsteigende Sammelrohr. In dieses münden sowohl in der ersten wie in der unteren Etage die horizontalen Sammelrohre ein. Von diesen aus gehen nun wieder die engen Röhren, am Ende mit weiten Fangschüsseln versehen, zu den Staubquellen hin. Diese Staubquellen sind in der Etage die Mündungen der Füllröhren. Der zurückdrückende Staub wird durch den Luftdruck möglichst unter der Fangschüssel festgehalten, belästigt also nicht den Athem des einschaufelnden Mannes. Ebenso nehmen die unteren Fangschüsseln den vom Fasse noch aufdringenden Staub auf, so daß auch hier der Arbeiter möglichst wenig belästigt wird. Der Exhaustor selbst geht natürlich perpetuell. Jedoch sind die diversen Abtheilungen, auf Wunsch sogar auch jede einzelne der engen Röhren mit einfachen, abschließbaren Klappen zu versehen, so daß man stets die Exhaustorwirkung jeden Augenblick von beliebigen

Stellen absperren kann. Die engen Röhren sind nur über einander gestülpt, also leicht abnehmbar. Die weiten Röhren versieht man an den Enden und eventuell auch noch an anderen beliebigen Stellen mit abnehmbaren Deckeln, so daß die Röhren leicht befahren, eventuell mit langen Bürsten dann und wann ausgefegt werden können. Die Anlage braucht natürlich nicht eine gerade Front wie auf der Zeichnung zu bilden, sondern kann beliebig gebrochen, ebenso die engen wie die weiten Röhren in beliebig veränderter Neigung ausgeführt werden, sobald nur das Princip der Anordnung dasselbe bleibt. Die Rohrleitung wird aus $^3/_4$ mm starkem Eisenblech in einfachster Weise hergestellt. Eine Packerei beistehender Größe reicht bequem für 300 000 Fässer jährlich aus und kostet hierfür die in Rede stehende Anlage inclusive Exhaustor nur ca. 1200 Mark.

Von Erdmenger wurde auch eine Ventilationsvorrichtung für die Cementmüllerei beschrieben, welche in ähnlicher Weise wirkt[1]).

Der Portlandcement erleidet beim Lagern nicht unwesentliche Veränderungen, über welche von verschiedener Seite eingehende Untersuchungen angestellt wurden, die zu nachstehenden Resultaten führten.

Nach den bisher gemachten Beobachtungen scheint es unzweifelhaft festzustehen, daß Portlandcement bei guter, also namentlich trockener Lagerung in seiner Beschaffenheit eine Verbesserung erfährt, denn wenn man einen Cement in gewissen Zeitintervallen prüft, so erhält man durchgehends steigende Festigkeitsresultate. Nach Dr. Schumann[2]) liegen die Ursachen, warum Portlandcement bei guter Lagerung an Bindekraft gewinnt, in folgenden Punkten: 1) Der Cement wird feiner, 2) er bindet langsamer ab und 3) er wird volumbeständiger.

Was den ersten Punkt betrifft, so sei es bekannt, daß, wenn man denselben Cement mittelst eines feinen Siebes von Zeit zu Zeit absiebt, man immer geringere Siebrückstände bekommt; ferner sei eine bekannte Thatsache, daß ein Cement eine um so höhere Bindekraft hat, je feiner er ist.

Der zweite Punkt, der Cement wird langsamer bindend, erklärt sich dadurch, daß jedes einzelne Cementtheilchen an der Oberfläche sich mit einer sehr dünnen Schicht von Hydratverbindungen resp. von kohlensaurem Kalk bedeckt. So dünn diese Schicht auch ist, so ist sie doch stark genug, um das Eindringen, also die Wirkung des Wassers beim Anmachen des Cementes auf einige Zeit zu verhindern. Es wird also das Abbinden verzögert und letzteres um so mehr, je dicker die Schicht hat werden können, d. h. je länger der Cement gelagert hat. Die Frage, in wie fern die Bindezeit eines Cementes auf die Festigkeit von Einfluß ist, läßt sich durch Folgendes beantworten: Es ist Thatsache, daß langsam bindende Cemente größere Festigkeitszahlen liefern als rascher bindende, was sich leicht durch die Vorgänge bei der Erhärtung des Cementes erklärt. Es laufen dabei zwei Processe, nämlich ein mechanischer und ein chemischer, neben einander her. Der mechanische Proceß besteht darin, daß sich nach dem Anmachen des

---

1) Deutsche Töpfer- und Ziegler-Ztg. 1878, Nr. 43.

2) Dr. Schumann, Notizbl. d. deutsch. V. f. Fabrik. v. Ziegeln, Thonw., Kalk u. Cement 1878, S. 159.

Mörtels die Partikel auf einander ablagern, wodurch der Mörtel eine gewisse Dichte erlangt. Diese Dichte wird um so größer ausfallen, je mehr Zeit man für die Ablagerung gewährt. Mit dem Momente, wo der parallel laufende chemische Proceß so weit vorgeschritten ist, daß der Cement erstarrt, d. h. daß der Mörtel als abgebunden zu betrachten ist, hört die Wirkung des mechanischen Processes auf und von da an bleibt der chemische Proceß allein in weiterer Wirksamkeit. Ist nun ein Cement rasch bindend, so wird der mechanische Proceß früher unterbrochen und es haben die Theilchen nicht die nöthige Zeit, um sich eben so dicht auf einander zu lagern, als sie bei langsam bindendem Cement dieses thun würden. Wenn daher bei dem langsam und dem rascher bindenden Cement der gleiche chemische Proceß wirkt, so wird bei den näher an einander gelagerten Theilchen des langsamer bindenden Cementes die Verkittung eine innigere sein, als bei den weiter aus einander liegenden Theilchen des rascher bindenden Materials. Man wird daher im Allgemeinen bei einem Cement, nachdem er durch Ablagern langsamer bindend geworden ist, eine höhere Festigkeit erhalten.

Was endlich den dritten Punkt, die Volumbeständigkeit, betrifft, so haben eingehende Versuche ergeben, daß jeder Cement beim Erhärten in Wasser eine gewisse Ausdehnung erleidet und daß diese Ausdehnung abnimmt, je länger ein Cement gelagert hat; da nun, wie leicht zu erklären, die größere Volumbeständigkeit ebenfalls günstig auf die mit einem Cement zu erzielende Festigkeit wirkt, so muß dieselbe auch als ein Vorzug des abgelagerten Cementes betrachtet werden.

Dr. Tomei[1]) fand bei seinen Versuchen über die Einwirkung der Bestandtheile der Luft auf den Cement, daß längeres Lagern bei einigen Cementen eine Verzögerung des Abbindens, bei anderen eine Herabminderung hervorrufe und zieht aus seinen Versuchen den Schluß, daß alle Cemente, welche durch Lagern langsamer bindend werden, dieses auch durch Einwirkung von Kohlensäure werden, während diejenigen Cemente, die durch Lagern rascher bindend werden, auch nach Zuleitung von Kohlensäure rascher abbinden. Er glaubt sonach, daß das raschere Abbinden in der Einwirkung von Kohlensäure seinen Grund habe, daß aber die Kohlensäure selbst bei beträchtlicher Einwirkung von keinem nachtheiligen Einfluß auf die Festigkeit des Cementes sei. Noch mehr wird das Abbinden verlangsamt durch Einwirkung von feuchter Luft; feuchte Kohlensäure aber bewirkt selbst nach kurzer Zeit eine bedeutende Herabminderung der Festigkeit, und es ist daher in dem vereinten Angriff von Feuchtigkeit und Kohlensäure der Hauptgrund des Verlagerns zu suchen.

Nach Dr. Erdmenger[2]), der ebenfalls beobachtete, daß Cemente durch Ablagern schneller bindend wurden, tritt diese Erscheinung nicht häufig auf; sie kommt nur bei Cementen vor, die beim Vermahlen sogleich ganz langsam bindend ausfallen, während bei weniger langsamen resp. rasch erhärtenden Cementen die gewöhnliche Regel des allmälig Langsamerwerdens statthat.

---

[1]) Tomei, Jahresber. der chem. Technologie von Wagner 1880, S. 512 u. 1881, S. 521.

[2]) Erdmenger, Thonind.-Ztg. 1880, S. 105.

Nach Erdmenger's [1]) Versuchen ist der frische Portlandcement kohlensäurefrei; aber jeder Cement — auch der von disponiblem Kalk möglichst freie — zieht beim Lagern Kohlensäure an und zwar allmälig mehr, je länger er lagert. Eine Probe Portlandcement, kohlensäurefrei, zeigte nach fünf Monaten einen Kohlensäuregehalt von 1,8 und nach acht Monaten von 2,2 Proc. Mit der Kohlensäureabsorption treten ganz bestimmte Veränderungen in der Beschaffenheit des Cementes, in seinem Verhalten beim Anmachen mit Wasser ein. Bis zu einem gewissen Grade verbessert sich der Cement fast ausnahmslos durch jene Absorption; er löscht sich, so zu sagen, ab. Zu viel Kohlensäure schwächt ihn aber wieder in seiner Festigkeit, beeinträchtigt demnach ebenfalls seine Güte. Der frische Cement besitzt das höchste specifische Gewicht. Ein Cement zeigte frisch ein specifisches Gewicht von 3,20, nach Aufnahme von 1,8 Proc. Kohlensäure dagegen nur von 3,00 und noch einige Monate später, bei 2,2 Proc. Kohlensäuregehalt, nur ein specifisches Gewicht von 2,96. Ein englischer Portlandcement, welchem frisch ein specifisches Gewicht von 3,09 zukam, ging herab auf ein specifisches Gewicht von 2,85, nachdem er im Zimmer ca. ein Decimeter hoch ein Jahr gelagert hatte. Der Kohlensäuregehalt betrug nach dieser Frist 2,1 Proc.

Die Kohlensäureabsorption bewirkt aber nicht, wie angenommen wird, die Verbesserung, sondern ist eine secundäre Erscheinung; auch ist die Annahme nicht richtig, daß die Kohlensäure dadurch verbessernd wirke, daß durch Bildung von kohlensaurem Kalk eine schützende Haut gegen die Angriffe des Wassers entsteht. Erdmenger betont, daß diese Kohlensäureabsorption eine Schwächung der Cementqualität bedeute, also nicht der Grund der Verbesserung durch Lagern sei.

Der oben aufliegende Cement, der Gelegenheit zur Kohlensäuerung habe, werde aber bei Weitem langsamer bindend als der innere, wo keine Absorption stattfinde. Aber der innere Theil verbessere sich durch das Lagern ebenfalls und zwar in noch stärkerem Maße, selbst wenn er noch rascher bindend bleibt, als der auf der Oberfläche. Die Verbesserung durch Lagern kann also nicht in Kohlensäuerung und dadurch verursachte Hautbildung beziehungsweise Feuchtigkeitshülle und dem dadurch verlangsamten Binden zu suchen sein, sondern in der Zeit. Es gilt also der Satz: Cement von gleichem Lageralter ist im Allgemeinen von gleicher Qualität, ob er oben aufliegt und später langsam bindet, oder ob er im Innern lagert und daselbst noch ziemlich rasch bindend ist; ja genau genommen steht der im Innern lagernde an Qualität höher. Die Absorption der Atmosphärilien bewirkt also nur langsameres Binden, nicht aber Erhöhung der Festigkeit.

Da nun durch Lagerung die Treibenstendenz verringert wird, so erleidet nach Erdmenger der Cement beim Lagern eine Art Verwitterungsproceß, bei welchem namentlich zu reichlich Kalk führende Partikel betheiligt sind. Die Verbesserung durch Lagern wäre demnach ein rein innerlicher Molekularvorgang [2]).

---

[1]) Erdmenger, Dingl. pol. J. 215, 538 u. 216, 63.

[2]) Thonind.-Ztg. 1878, Nr. 35. Zwick's Jahrbuch über die Leistungen der Thonwaaren- 2c. Industrie. Jahrg. II, S. 211.

Frisch gezogener Cement erwärmt sich in den bei Weitem meisten Fällen erheblich beim Anmachen mit Wasser. Jeder Cement, der gelagert ist, enthält Kohlensäure, welche, ebenso wie Feuchtigkeit, die Erwärmungsfähigkeit abstumpft. Wollte man bei Cementen, welche in kurzem Zeitraume (in etwa 0,2 bis 10,0 Minuten) sich erheblich erwärmen, warten, bis durch Lagern eine merklichere Abstumpfung der Erwärmungsfähigkeit eintritt, so würde dieses in den meisten Fällen sehr lange dauern. Am raschesten geht dieser Löschproceß noch in den oberen Cementlagen vor sich. So zeigte ein frischer Cement eine Erwärmung von 10° in sechs bis acht Minuten; nach vier Wochen erwärmte sich die oben aufliegende Schicht noch um 6 bis 7° in 15 Minuten, die mehrere Centimeter tiefer liegende Schicht noch um 8 bis 9° in 10 Minuten. Bei rasch angehendem Cement würde daher die natürliche Abstumpfung viel Zeit und sehr ausgedehnte Lagerräume erfordern, wobei noch der Cement, ganz flach lagernd, oft umzustechen wäre. Schneller läßt sich nach Erdmenger bei derartigem Cement die Ablöschung auf künstliche Weise vornehmen durch Zusatz von Kohlensäure abgebenden Salzen, wie Natrium-Ammoniumbicarbonat oder Sesquicarbonat ꝛc. Die Wirkung stellt sich bei solchen Zusätzen so dar, als ob vorhandenes freies — oder richtiger gesagt — frei werdendes Calciumoxyd abgestumpft, d. h. in kohlensauren Kalk übergeführt würde. Diese Annahme wird dadurch bestätigt, daß man bei solchem rasch angehenden Cement denselben statt durch Kohlensäure auch durch andere Mittel abstumpfen kann, welche freies Calciumoxyd ebenfalls chemisch binden, so z. B. durch Wasser. Das Wasser kann man wie die kohlensauren Salze gleich in den Zerkleinerungsapparaten mit dem Cement aufgeben. Indeß übt die Abstumpfung jäheren Cementes durch Kohlensäure doch noch einen besseren Einfluß aus als die Abstumpfung durch Wasser. Rührt man nämlich mit derselben Wassermenge einmal frischen, sich rasch erwärmenden Cement, dann mit etwa 0,5 Proc. Wasser abgelöschten und endlich mit etwa 0,5 bis 1,0 Proc. Natriumbicarbonat abgelöschten Cement an, und zwar auch jedesmal gleiche Gewichtsmengen Cement, gießt die drei Mörtel in Formen und mißt den Cubikinhalt der erhaltenen Gußstücke, so ergeben der unabgelöschte und der mit Wasser abgelöschte Cement gleiche oder fast gleiche Raumerfüllung, der durch Kohlensäure abgelöschte aber eine geringere. Der durch das Natriumbicarbonat abgestumpfte Cement ergiebt also eine größere Dichtigkeit und somit unter sonst gleichen Umständen auch einen höheren Festigkeitsgrad, wie angestellte Versuche ergeben haben.

Macht man ferner von rasch und erheblich sich erwärmendem Cement ein bestimmtes Maß mit einer gemessenen Menge Wasser an, und zwar erst von ganz frischem, dann immer in Zeitpausen von mehreren Wochen älterem Cement, so werden die Proben bis zu einem gewissen Zeitpunkte immer flüssiger, und ergiebt sich, daß der Cement zur Erzielung eines bestimmten Consistenzgrades mit fortschreitendem Alter immer weniger Wasser bedarf. Werden die aus stets gleichen Maaßtheilen von Cement und Wasser hergestellten Gußstücke gemessen, so zeigt sich längere Zeit hindurch eine Verringerung des Volumens, also eine vergrößerte Contraction. Jedoch ist der Cement unterdeß auch immerwährend specifisch leichter geworden. Lagert der Cement länger und länger, so tritt endlich ein

Zeitpunkt ein, wo das Volumen des Gußstückes sich nicht weiter verringert, und bei noch längerem Lagern wächst das Volumen wieder. Bis zum Eintritt der größten Dichte nimmt die Festigkeit des Cementes merklich zu. Ist das Maximum der Contraction überschritten, so geht die Festigkeit wieder zurück. In der Regel wird daher weder ganz frischer noch sehr alter Portlandcement seine volle Güte besitzen. Da das specifische Gewicht beim Lagern abnimmt, ersieht man ferner, daß der Cement meist nicht in seinem dichtesten Stadium, d. i. ganz frisch, die größte Festigkeit ergiebt, sondern daß er beim Maximum seiner Leistungsfähigkeit bereits etwas von seiner ursprünglichen Schwere eingebüßt hat. Bei Versuchen fand Erdmenger, daß der Cement das Maximum der Festigkeit ergab, nachdem sein specifisches Gewicht von 3,20 auf 3,12 herabgegangen war und eine Kohlensäureaufnahme von 0,8 Proc. stattgefunden hatte.

Contractionszunahme, Verminderung der Temperaturerhöhung, Verlängerung der Abbindezeit erhöhen die Güte des Cementes. Dieselben Mittel, welche in Betreff des Erwärmens und Abbindens günstig wirken, befördern auch die Contraction. Durch Einführung von etwas hydratisirter Kohlensäure in sich rasch und erheblich erwärmendem Cement kann man das Contractionsmaximum meist in sehr viel kürzerer Zeit als durch Lagern erreichen und selbst bei frischer Versendung schon wesentliche Verbesserung erzielen. Durch Abstumpfung mit Wasser statt Kohlensäure wird wohl Erwärmen und Abbinden wesentlich beeinflußt, nicht aber die Contraction.

Nach C. Bender[1]) zeigen sich auch während des Ablagerns einige interessante Erscheinungen. Das unter Verhinderung der Wasser- und Kohlensäureaufnahme mit möglichst abgekühltem Cementpulver gut gefüllte Faß zeigt zu Anfang die Eigenschaft des Tönens beim Anschlagen nicht. Nach 14 Tagen, oft auch erst nach einem Monate, gewahrt man beim Anschlagen einen deutlichen klangvollen Ton. Die Masse hat sich dann im Innern zusammengezogen und gestattet den Dauben des Fasses, ihre Schwingungen auszuführen. Würde man ohne Hammerschlag die Reife des Fasses entfernen können, so bliebe eine scheinbar compacte Masse stehen. Das Tönen gewahrt man nicht bis zu Ende des Ablagerns. Einige Zeit darauf, in etwa einem, auch zwei Monaten, tritt ein Treiben (Wachsen) des Cementpulvers ein, wodurch gewöhnlich die Faßreife zersprengt werden, wenn nicht vorher durch loses Anlegen der Reife oder durch unvollkommene Füllung diesem vorgebeugt worden war. Mit diesem Treiben hat der Cement seine größte Güte erreicht und beginnt bei fortgesetztem, wenn auch vollständig vor Feuchtigkeit und Kohlensäurezutritt geschütztem Ablagern mehr und mehr abzunehmen; namentlich wird er träge im Abbinden und erhärtet langsamer. Roman- wie Portlandcement, beide zeigen bei dem Ablagern die nämlichen Eigenschaften, wenn auch letzterer mit geringerer Intensität. Beide Vorgänge, in welche das Ablagern getheilt werden kann, das Schwinden und das Wachsen des äußeren Volumens, scheinen bei dem Portlandcement die Bindezeit nicht wesentlich zu alteriren.

Nach C. Heintzel[2]) hat das Licht einen nachtheiligen Einfluß auf die Qualität des Cementes; nach seinen Beobachtungen nimmt das Cementpulver

[1]) Wagner's Jahresber. d. chem. Technologie 1870, S. 363.
[2]) Dingl. pol. J. 228, 277. Notizbl. f. Fabrik. v. Ziegeln ꝛc. 1878, S. 104.

im Lichte eine gelbliche Farbe an, im Dunkeln behalte es seinen grüngrauen Schein; es sei hier also durch Einwirkung des Lichtes eine Zersetzung der Eisenverbindung des Cementes vor sich gegangen, und zwar mußten sich grüne Eisenoxydul enthaltende Verbindungen in gelbe Eisenoxyd haltende verwandelt haben. Ebenso fand er einen Rückgang in der Festigkeit, sowie ein Abnehmen der Bindezeit bei Einwirkung des Lichtes. Bisher hat man das Entgegengesetzte wahrgenommen, nämlich eine Verlängerung der Bindezeit und Zunahme der Festigkeit beim Lagern; es wird daher von anderer Seite bezweifelt, daß der Einfluß des Lichtes sich in der genannten Weise äußere. Es dürfte daher angezeigt sein, diese Frage einer weiteren Prüfung zu unterziehen.

6. Eigenschaften des Portlandcementes.

Die Farbe des Portlandcementes ist hell- bis dunkelgrau, ins Blaue oder Grüne ziehend; dessen Pulver besteht nach v. Pettenkofer[1]) fast nur aus kleinen Blättchen oder Schiefern, welche Beschaffenheit eine sehr dichte Ineinanderschiebung gestattet. Dr. Erdmenger[2]) hat unter dem Mikroskop nichts gefunden, was einen solchen Ausspruch rechtfertigt. Der Gries des Portlandcementes besteht im Allgemeinen aus rundlichen rauhen Körpern; ebenso zeigt sich das Feine, wenn es unter dem Mikroskop vergrößert erscheint. Man sieht da sofort, daß man eine Art vulcanischen, zeolithischen Productes vor sich hat. Die Oberfläche erscheint drusenförmig löcherig, mit scharfen, zackigen Rändern, ganz trachytbeziehungsweise tuffartig zerrissen. Dabei ist die Färbung sehr zurücktretend, die Masse erscheint in der Hauptsache weiß.

Nach H. Le Chatelier[3]) läßt sich, wenn man unter dem Polarisationsmikroskop einen Dünnschliff untersucht, der aus der glasharten Schlacke, wie sie aus dem Portlandcementofen kommt, herausgeschnitten ist, zunächst ein auf das polarisirte Licht nicht einwirkendes Calciumaluminat unterscheiden und zwar, wie synthetische Versuche bestätigen, das Tricalciumaluminat, $Al_2O_3 . 3\,CaO$. Ein nur schwach auf das polarisirte Licht wirkendes Calciumsilicat, ein Kalkperidot, Ca_2SiO_4, scheint der wesentlichste, wenn nicht der einzig wirksame Bestandtheil der Cemente zu sein; Portlandcemente bestehen zuweilen fast nur aus diesem Kalkperidot. Ein stark braungefärbter, auf das polarisirte Licht wirkender, am leichtesten schmelzbarer Bestandtheil der Cemente bildet ein Calciumferrialuminat, $2(AlFe)_2O_3 . 3\,CaO$. Einige wenige auf das polarisirte Licht stark wirkende Krystalle scheinen Magnesiaverbindungen zu sein.

Das specifische Gewicht des normal gebrannten Portlandcementes fand Michaëlis[4]) im Durchschnitte (in absolutem Alkohol gewogen) zu 3,2. Das specifische Gewicht des nur mäßig stark gebrannten Cementes wurde von

---

1) Dingl. pol. J. **113**, 367.
2) Thonind.-Ztg. 1880, S. 366.
3) Thonind.-Ztg. 1882, S. 202. Compt. rend. **94**, 876.
4) Michaëlis, Die hydraul. Mörtel ꝛc. S. 186.

demselben um 0,1 geringer, und das des verglasten dagegen um 0,3 geringer gefunden.

v. Pettenkofer[1]) fand das specifische Gewicht für eine englische Portlandcementprobe zu 3,2 und für einen bayerischen hydraulischen Kalk zu 2,72. H. Seger und J. Aron[2]) bestimmten das specifische Gewicht einer Anzahl von Cementen in Petroleum und erhielten Zahlen von 2,99 bis 3,08.

Nach Erdmenger[3]) wird im Allgemeinen das specifische Gewicht der Cemente etwas gesteigert, wenn er vom fast garen Zustande in scharf gebrannten übergeht und nimmt beim anfangenden überscharfen Brennen wieder ab, wie nachstehende Zahlen ersehen lassen:

Portlandcement:		Dolomitischer Portlandcement:	
Ungares	2,67	Kern ungar, äußere Kruste bereits gar	3,09
Kern ungar, äußere Kruste schon gar	2,77	Kern ungar, äußere Kruste bereits gar	3,07
kaum genügend gar	3,00	Kern ungar, äußere Kruste bereits gar	3,10
eben gar	3,21	genügend gar	3,16
gut gar	3,12	gut scharf	3,20
etwas schärfer	3,07	" "	3,24
sehr scharf	3,12		
und	3,14		
Anfang vom Ueberbrennen	3,05		

Von Schumann[4]) wurde das specifische Gewicht von 20 verschiedenen Proben Portlandcement, aus den verschiedensten Rohmaterialien hergestellt, deutsche, englische und französische Portlandcemente untersucht; er fand es zwischen 3,110 und 3,174 schwankend, im Mittel 3,123, er fand ferner aus weiteren Versuchen, die er an einzelnen Cementstücken aus ganz heterogenem Rohmaterial bei sehr verschiedenem Brande und differirendem Kalkgehalte vornahm, daß unter Umständen das specifische Gewicht bis 3,23 steigen kann, niemals aber fand er eine geringere Zahl als 3,1.

Erdmenger hat auch nachgewiesen, daß durch Lagern das specifische Gewicht der Portlandcemente abnimmt; Näheres hierüber ist auf S. 168 bereits mitgetheilt.

Der Portlandcement ist daher um Vieles schwerer und dichter als die Romancemente; derselbe enthält demnach in demselben Volumen bedeutend mehr Masse, muß demnach auch einen weit festeren, dichteren und widerstandsfähigeren Mörtel geben. Wegen der dichten, halbglasigen Structur absorbiren daher die Portlandcemente Feuchtigkeit und Kohlensäure in geringerem Grade aus der Atmosphäre und sind in Folge dessen dem Verderben durch Abbinden weit weniger ausgesetzt als die Romancemente. v. Pettenkofer fand, daß ein bayerischer

1) Dingl. pol. J. 113, 367.
2) Dingl. pol. J. 225, 568.
3) Dingl. pol. J. 227, 410.
4) Thonind.-Ztg. 1883, S. 236.

hydraulischer Kalk um 4,47 Proc., Portlandcement in gleicher Zeit nur um 0,65 Proc. an Gewicht zugenommen hatte.

Was die chemische Zusammensetzung betrifft, so ist dieselbe bei den Portlandcementen viel weniger schwankend als bei den Romancementen, wie aus den in nachfolgenden Tabellen (S. 174 und 175) zusammengestellten Analysen ersichtlich ist.

Wie die aufgeführten Tabellen zeigen, enthalten die meisten Portlandcemente Gyps; dieselben enthalten aber auch nach Michaëlis Calciumsulfuret und Calciumoxysulfuret, über deren Mengen aber nähere Angaben fehlen. H. Kämmerer[1]) hat nun in neuester Zeit umfassende Untersuchungen angestellt über die in den Cementen vorkommenden Schwefelverbindungen, wobei er zu folgenden Resultaten kam.

Schwefelverbindungen finden sich in fast allen zur Darstellung von Cementen dienenden Rohmaterialien und finden sich daher auch in den meisten Cementen. Die ursprünglich den Rohmaterialien beigemengten Schwefelverbindungen, Sulfate und Sulfide, können theils unverändert, theils in Form von Zersetzungsproducten in die Cemente übergehen. In den von ihm untersuchten Cementen fand derselbe folgende Schwefelverbindungen: Schwefelsaures, unterschwefligsaures und unterschwefelsaures Calcium, Calciumsulfid, Eisensulfid und Eisenbisulfid (Schwefelkies).

Von neun untersuchten Cementproben enthielt eine einzige gar kein Schwefelmetall, sechs Proben enthielten kein Schwefelcalcium, dagegen Einfach-Schwefeleisen in reichlicher und Schwefelkies in sehr geringer Menge, eine Portlandcementprobe erwies sich reich an Schwefelcalcium und an Einfach-Schwefeleisen; die neunte Probe enthielt außerordentlich große Mengen von Schwefelcalcium, Einfach-Schwefeleisen und Eisenkies.

Bei Untersuchung von 13 Portlandcementproben aus verschiedenen Fabriken auf die Menge der darin vorkommenden Schwefelverbindungen erhielt Kämmerer nachstehende Resultate: Alle 13 Proben enthielten schwefelsaures und unterschwefelsaures Calcium und Einfach-Schwefeleisen, dagegen nur zwei Proben Schwefelcalcium. Die Menge des schwefelsauren Calciums (Gyps) schwankte von 0,344 bis 1,109 Proc., die vom unterschwefelsauren Calcium von 0,0111 bis 0,0592 Proc. und vom Einfach-Schwefeleisen von 0,285 bis 1,375 Proc. Eine Cementprobe enthielt 0,059 und die andere 0,246 Proc. Schwefelcalcium. Geringe Mengen von unzersetztem Schwefelkies fanden sich nur in zwei Proben.

Keine der untersuchten Proben enthielt schwefligsaures Salz; unterschweflige Säure war in den frischen Cementproben nicht, dagegen in den mehrere Monate alten leicht nachweisbar.

Die Bildung des Schwefelcalciums, des unterschwefligsauren und unterschwefelsauren Calciums geht nach Kämmerer in folgender Weise vor sich: Schwefelcalcium kann auf zweierlei Art durch Reduction des Gypses entstehen; entweder durch organische Substanzen oder durch den aus dem Schwefelkies frei werdenden Schwefel.

---

[1]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrik. v. Ziegeln, Thonwaaren ꝛc. 1877, S. 304 u. 1878, S. 343.

	Michaëlis	Michaëlis					Vicat		
	Englischer Portlandcement	Deutsche Portlandcemente					Französische Cemente		
	White & Brothers	Stettiner		Stern-cement	Wildauer Cement				
Kalk	59,06	62,81	61,74	61,64	61,91	60,33	60,90	62,62	61,45
Magnesia	0,82	1,14	2,24	—	1,15	0,23	—	—	—
Kieselsäure	24,07	23,22	25,63	23,00	24,19	25,96	25,40	25,45	25,13
Thonerde	6,92	5,27	6,17	6,17	7,66	7,04	14,00	7,38	9,44
Eisenoxyd	3,41	2,00	0,45	2,13	2,54	2,46		4,55	2,36
Kali	0,73	1,27	0,60	—	0,77	0,94	—	—	—
Natron	0,87		0,40	—	0,46	0,30	—	—	—
Schwefelsäure Kalk	2,85	1,30	1,64	—	—	1,52	—	—	1,22
Thon Sand	1,47	2,54	1,13	—	1,32	1,04	—	—	—

In diesen Analysen ist die Zusammensetzung auf den wasser- und kohlensäurefreien Zustand berechnet.

	Hopf-gartner	Feichtinger	Knauß	Ziureck	Ziureck	Feichtinger		
	Englische Portlandcemente				Deutsche Portlandcemente			
				Robinson	Gebr. Dykerhoff in Amöneburg	Bonner	Kufsteiner	Gebr. Heyn in Lüneburg
Kalk	54,11	54,40	57,0	56,68	58,03	57,18	55,78	62,02
Magnesia	0,75	0,86	2,5	0,57	2,39	1,32	1,62	1,13
Thonerde	7,75	7,73	6,5	7,74	11,30	9,20	8,90	6,52
Eisenoxyd	5,30	5,50	4,5	3,70	3,36	5,12	6,05	2,82
Kali	1,10	0,86	1,0	0,63 (Kali und Natron)	0,72 (Kali und Natron)	0,58	0,75	0,57
Natron	1,66	1,78	0,2			0,70	1,06	1,70
Kieselsäure	22,23	23,72	15,9	22,74	21,11	23,36	22,53	22,58
Phosphorsäure	0,75	—	—	—	—	—	—	—
Schwefelsäure	1,00	1,12	—	—	—	0,64	1,85	1,15
Gyps	—	—	—	1,66	0,51	—	—	—
Kohlensäure	2,15	2,80	2,6	3,50	0,83	1,90	1,46	1,51
Unlösliches	2,20	—	9,4	0,53	0,49	—	—	—
Wasser	1,00	0,96	0,4	1,90	0,54	—	—	—

In welcher Weise die einzelnen Bestandtheile der Portlandcemente chemisch mit einander verbunden sind, darüber herrschen verschiedene Ansichten, wir werden dieselben in einem späteren Abschnitte eingehend besprechen.

$$\text{I.} \quad FeS_2 = FeS + S.$$

$$\text{II.} \quad CaSO_4 + 2S = CaS + 2SO_2.$$

Durch Einwirkung des Sauerstoffs auf vorher gebildetes Schwefelcalcium bildet sich das unterschwefligsaure und unterschwefelsaure Calcium [1]).

Der Gypsgehalt rührt nach Kämmerer von den gyps- und schwefelkieshaltigen Rohmaterialien her; es ist aber auch möglich, daß ein Theil desselben durch die Einwirkung des verwendeten Brennmaterials (schwefelhaltige Coaks) gebildet wird.

Zur qualitativen und quantitativen Bestimmung der im Portlandcemente enthaltenen Schwefelverbindungen wurde von H. Kämmerer nachstehendes Verfahren eingeschlagen: Der fein gepulverte Portlandcement (10 g) wurde zunächst mit einer Lösung von kohlensaurem Natrium eine bis zwei Stunden gekocht, um etwa vorhandenes schwierig zersetzbares Calciumsulfid, sowie schwefelsaures, schwefligsaures, unterschwefligsaures und unterschwefelsaures Calcium zu zersetzen und den an Calcium gebundenen Schwefel, sowie die genannten Säuren in die leicht löslichen Natriumverbindungen überzuführen. Durch Filtration werden diese von dem gebildeten kohlensauren Calcium und dem ungelöst gebliebenen Theile der Cementprobe getrennt.

Die weitere Untersuchung erstreckt sich nun auf den löslichen und den unlöslichen Theil. Die durch Kochen mit kohlensaurem Natrium erhaltene filtrirte Lösung wird zunächst mit essigsaurem Zink im Ueberschusse versetzt und der aus kohlensaurem Zink und Zinksulfid bestehende Niederschlag abfiltrirt. Nach dem Auswaschen des Niederschlages wird derselbe mit Essigsäure behandelt, um das kohlensaure Zink zu lösen. Das ungelöste Schwefelzink wird nach dem Glühen mit Schwefelblumen im Wasserstoffstrome durch Wägung ermittelt; die Menge desselben entspricht der Menge des in dem Cemente enthaltenen Calciumsulfides.

Die mit essigsaurem Zink von Sulfiden und Carbonaten befreite Lösung wird zunächst mit einer Lösung von Chlorbaryum, zur Fällung der schwefligen Säure und Schwefelsäure, versetzt. Durch Behandlung des erhaltenen Niederschlages mit Salzsäure werden beide getrennt, schwefligsaures Baryum geht in Lösung, schwefelsaures Baryum bleibt ungelöst zurück. Letzteres wird zur Bestimmung des Schwefelsäuregehaltes direct gewogen; zur Bestimmung der schwefligen Säure wird das in die salzsaure Lösung gegangene Baryum mit Schwefelsäure gefällt.

Das zuletzt nach Entfernung des Baryumniederschlages erhaltene Filtrat wird in der Siedehitze mit verdünnter Salzsäure zersetzt. Die Anwesenheit von unterschwefliger Säure giebt sich dann durch Entstehen von sich ausscheidendem Schwefel und schwefliger Säure, die Anwesenheit von Unterschwefelsäure durch Bildung von unlöslichem schwefelsaurem Baryum und schwefliger Säure zu erkennen. Tritt auch bei längerem Kochen keine schweflige Säure auf, so können beide Säuren nicht vorhanden sein. Tritt schweflige Säure auf und bildet sich eine unlösliche Ausscheidung, so können beide Säuren zugleich vorhanden sein. Es wird nun der Niederschlag mit Kalilauge gekocht; löst er sich vollständig auf, schwärzt die Lösung Silber und entwickelt beim Ansäuern mit Salzsäure Schwefel-

---

[1]) Diese beiden Kalksalze können im frisch gebrannten Cemente nicht enthalten sein, sondern bilden sich erst beim Lagern des Cementes an der Luft.

wasserstoff, so besteht er nur aus Schwefel, der von vorhandener unterschwefliger Säure herrührt. Was in Kalilauge ungelöst bleibt, repräsentirt das durch Zersetzung der Unterschwefelsäure entstandene schwefelsaure Baryum, aus dessen Gewicht die Menge der ursprünglich vorhandenen Unterschwefelsäure berechnet werden kann, während der Gehalt an unterschwefliger Säure sich aus der in die alkalische Lösung gegangenen Menge Schwefels ergiebt. Dieser kann durch salzsaure Bromlösung in Schwefelsäure übergeführt und als Baryumsulfat gewogen werden.

Der nach dem Auskochen mit einer Lösung von kohlensaurem Natrium bleibende Rückstand der ursprünglichen Cementprobe, welcher noch die Eisensulfide enthält, wird zur quantitativen Bestimmung des an Eisen gebundenen Schwefels mit in Salzsäure gelöstem Brom behandelt, zur Trockne verdampft, der Rückstand mit Salzsäure ausgezogen und aus der salzsauren Lösung die Schwefelsäure mittelst Chlorbaryum als Baryumsulfat gefällt, aus dessen Gewicht der an Eisen gebundene Schwefel berechnet wird.

Nach Kämmerer wirkt schon ein geringer Gypsgehalt bei Verwendung des Portlandcementes zu Wasserbauten nachtheilig, indem durch Auswaschen der vom Gyps ausgefüllten Räume die Cohäsion der Masse jedenfalls gelockert, unter besonderen Umständen wohl auch ganz aufgehoben werden kann. Aus demselben Grunde müßten auch alle übrigen Schwefelverbindungen in Cementen für höchst schädlich gelten, welche durch den oxydirenden Einfluß des Sauerstoffs der Luft oder des in Wasser gelösten Sauerstoffs direct in Gyps übergehen oder indirect zur Entstehung desselben Veranlassung geben. Erdmenger[1]) spricht sich dagegen aus; aus seinen Versuchen, bei welchen er durch Zugabe von 1,5 Proc. Gyps eine steigende Festigkeit des Cementes wahrnahm und da diese Proben hierzu unter Wasser aufbewahrt wurden, geht hervor, daß die von Kämmerer gemachte Angabe, daß schon ein geringer Gypsgehalt des Cementes bei Verwendung desselben zu Wasserbauten höchst nachtheilig sei, weil er auflockernd wirke, nicht gerechtfertigt sei. Auch Schott[2]) theilt die von Kämmerer ausgesprochene Befürchtung nicht.

Auf die von Michaëlis ausgesprochene Ansicht, daß der im Cement enthaltene Gyps eine Hauptursache des Treibens sei, werden wir später noch zurückkommen.

Der Portlandcement steht unter allen bekannten natürlichen und künstlichen Cementen in Bezug auf Bindekraft und Festigkeit obenan. Mit Wasser zu einem dicken Brei angerührt, bindet er je nach seiner Zusammensetzung und dem Hitzegrade, welchem er ausgesetzt wurde, mehr oder minder rasch und erlangt mit der Zeit eine große Festigkeit. Im Handel unterscheidet man daher zwischen langsam und schnell bindendem Portlandcemente. Unter langsam bindend versteht man solchen, der in reinem Zustande in $1/2$ Stunde oder auch erst in längerer Zeit abbindet, während bei schnell bindendem Cemente das Abbinden in einer viel kürzeren Zeit als $1/2$ Stunde (oft schon in 5 bis 10 Minuten) nach dem Anmachen mit Wasser eintritt. Ein höherer Kalkgehalt giebt bei geeignetem Brande

[1]) Dingl. pol. J. 230, 72.
[2]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrik. v. Ziegeln ꝛc. 1878, S. 111.

einen schweren, dichten, langsam erhärtenden Cement, hingegen erzeugt ein geringerer Kalk- und höherer Thongehalt ein schnelleres Binden; dadurch ist der Fabrikant auch im Stande, je nach Wunsch Cement von jeder beliebigen Bindezeit zu erzeugen.

Von einem tadellosen Portlandcement wird noch weiter verlangt, daß derselbe mit Wasser angemacht steinfest wird, sowohl an der Luft als auch unter Wasser beständig ist, sein Volumen so gut wie absolut nicht verändert, am Stein festhaftet und einen hohen Sandzusatz verträgt. Auf welche Weise man den Cement nach diesen Richtungen hin untersucht, soll später angegeben werden.

7. Ueber Zusätze zum gepulverten Portlandcement.

Nach dem Brennen werden dem Portlandcemente manchmal noch andere verschiedene Stoffe beigemengt. Von diesen haben einige, wie Soda, Gyps, den Zweck, den Portlandcement nach gewissen Beziehungen hin zu verbessern, während andere, wie Schlackenmehl, Kalkstein 2c., als minderwerthig die Qualität des Cementes beeinflussen.

Ein Zusatz von kohlensaurem Alkali, calcinirte Soda, hat zunächst den Zweck, den Cement in kürzerer Zeit als durch Lagerung durch Einführung von Kohlensäure langsamer bindend zu machen. Das einfach kohlensaure Salz bewirkt aber nicht wie das Bicarbonat eine Contractionsvergrößerung, sondern das Volumen des angemachten Cementes bleibt dasselbe, wie bei Verwendung ohne jeglichen Zusatz, dagegen wird das jähere Ansaugen und die Erwärmungsintensität ebenfalls wie bei Anwendung von Wasser gemildert (s. S. 169). Eine andere günstige Wirkung des zugemischten kohlensauren Alkalis ist, daß es den Cement viel befähigter macht, das zur Erhärtung nöthige Wasser zurückzuhalten; es wirkt so vorschneller Austrocknung entgegen. Ein langsam bindender Cement ist ohne Alkaligehalt dem Austrocknen stärker ausgesetzt, so zwar, daß er bei Verarbeitung ohne Sandzusatz zuweilen schon mehrere Stunden nach dem Anmachen nicht mehr die ganze Menge des zur chemischen Action nothwendigen Wassers besitzt; dadurch wird die Festigkeit herabgestimmt (Erdmenger[1]).

Seitdem General Scott in England die Beobachtung machte, daß gemahlener, gebrannter Kalk durch Zusatz von ca. 5 Proc. gebranntem Gyps die Eigenschaft zu löschen verliere, dagegen mit Wasser und Sand zu Mörtel verarbeitet, cementähnlich abbinde und später in der Luft weit vorzüglicher erhärte, als die nach gewöhnlicher Methode mit gelöschtem Kalk bereiteten Mörtel, hat man bei schlechten, zu schwach gebrannten Portlandcementen einen Gypszusatz verwendet. Die Wirkung des Gypszusatzes ist nach F. Schott[2]) dieselbe wie auf gebrannten Kalk. Wie beim Lagern des Cementpulvers unter der Einwirkung der Atmosphäre auf demselben eine dünne Lage von kohlensauren und Hydratverbindungen gebildet wird, die demselben eine weit größere Netzbarkeit gegen Wasser ertheilt, das Eindringen desselben in das Innere der Körnchen er-

---

[1]) Dingl. pol. J. 218, 503.

[2]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrik. v. Ziegeln 2c. 1878, S. 107.

schwert, somit auch das Abbinden verlangsamt, so bewirkt nach Schott auch ein in weit kürzerer Zeit zu erzielender Ueberzug von wasserhaltigem Calciumsulfat (Gyps) ein langsameres Abbinden, in Folge dessen dichtere Lagerung und größere Festigkeit, zumal die schwach gebrannten rasch bindenden Cementtheile besonders geeignet sind, Gyps niederzuschlagen. Der Gypszusatz ersetzt somit das Ablagern. Geradezu schädlich erwies sich aber nach Versuchen die Wirkung des Gypses auf bereits abgelagerten Cement.

R. Dyckerhoff[1]) fand durch Versuche, daß ein Zusatz von Gyps auch bei scharf gebrannten, rascher bindenden Cementen von großer Wirkung ist, indem er denselben langsam bindend mache und dadurch seine Festigkeit wesentlich erhöhe. Die Wirkung des Gypses äußere sich jedoch bei gleichartiger Anfertigungsweise der Probekörper in höherem Maße bei reinem Cemente als bei Cement mit Sand. Außerdem hätten seine Versuche ergeben, daß alle Cemente, in reinem Zustande sowohl als mit Sand, beim Erhärten in Wasser eine gewisse, wenn auch nur geringe Ausdehnung erleiden. Schon bei geringem Gypszusatz werde die Ausdehnung stärker und wachse mit steigendem Gypszusatz. Dagegen hätten die Versuche mit Cement, welcher durch Ablagern langsam erhärtend geworden, ergeben, daß sich derselbe beim Erhärten in Wasser weniger ausdehne, als im frischen Zustande, während er, dem langsameren Abbinden entsprechend, wesentlich höhere Festigkeitszahlen ergebe. Man sollte daher Cemente mit Gypszusatz nicht für solche Arbeiten verwenden, bei denen eine stärkere Ausdehnung des Cementes während des Erhärtens nachtheilig wirken kann.

Nach L. Erdmenger's[2]) Versuchen kann die Wirkung des Zusatzes von ungebranntem Gyps zu Portlandcement in Mengen von 1 bis 2 Proc. darin bestehen, daß die Bindezeit mehr oder weniger verlangsamt wird, die Temperatur beim Anmachen sich erniedrigt und im Zusammenhang mit diesen Erscheinungen meist die Festigkeit sich erhöht. Bei zu viel Gyps nimmt die Festigkeit wieder ab und führt bei immer reichlicherer Steigerung immer mehr ein Zerklüften der Cementproben herbei. Im Allgemeinen kann man 2 Proc. als Grenze ansehen.

Nach Erdmenger ist die von Schott angenommene Gypshautbildung für die beobachtete Wirkung des Gypses zur Erklärung nicht für alle Fälle ausreichend, namentlich nicht für Cementsandmischungen; es sei noch keineswegs aufgeklärt, wie der Gyps wirkt.

Tomei[3]) hat Versuche gemacht über die Einwirkung von Sulfaten auf die Bindezeit und die Festigkeit des Cementes. Aus denselben ergab sich, daß die Sulfate der Alkalimetalle das Abbinden beschleunigen, alle übrigen Sulfate, auch der Alaun, die Bindezeit verzögern. Tomei glaubt aus seinen Versuchen schließen zu dürfen, daß bei Einwirkung des Gypses eine chemische Reaction das Wirksame ist.

Dr. Louis Erdmenger in Misburg (Hannover) ließ sich die Herstellung eines starken Sandzusatz vertragenden und dem Seewasser gut

[1]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrik. v. Ziegeln ꝛc. 1878, S. 112.
[2]) Thonind.-Ztg. 1878, S. 55 u. f. Dingl. pol. J. 230, 71.
[3]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrik. v. Ziegeln ꝛc. 1879, S. 162.

widerstehenden Cementes durch Mischung von gewöhnlichem Portlandcement, dessen Rohmaterial keine Magnesia enthält, mit Magnesia, die nicht der Weißgluthhitze ausgesetzt war und am besten in möglichst zartem (fein zertheiltem) Zustande, etwa nach Art der magnesia usta oder auch als gebrannter Magnesit als Zumischung angewendet wird, patentiren (D. R.-P. Nr. 26130 vom 16. Januar 1883).

Nach dem Patentinhaber basirt seine Erfindung auf der bisher noch nicht bekannten Thatsache, daß durch leichtes Brennen, d. h. bei geringer Hitze, erhaltene freie Magnesia als Zusatz zu Portlandcement bedeutend günstigere Eigenschaften zeigt, als andere Zusätze, die für sich als Mörtel gebend bekannt sind. Magnesia hat sogleich nach dem Brennen oder nach kurzem Liegen an der Luft die Eigenschaft, den Portlandcement mit höheren Sandzusätzen noch bindefähig zu erhalten, wenn sie ihm in gewissen Procentsätzen zugemengt wird. Ferner läßt sich mit dem so erhaltenen Cemente bequemer direct unter Wasser betoniren, da kein so leichtes Auseinanderlaufen des Mörtels dabei stattfindet, als ohne die Magnesiabeigabe der Fall ist. Auch widersteht ein magnesiareicher Cement besser der Einwirkung von stark salzhaltigem Seewasser, indem die Magnesia schwer löslich und sehr widerstandsfähig gegen die zersetzenden Einflüsse der im Seewasser aufgelösten Salze ist. Aus diesem Cemente hergestellte Gußsachen zeigen bei hoher Festigkeit an der freien Luft nicht mit der Zeit die mißliche Haarrissebildung des gewöhnlichen Portlandcementes.

Wollte man schon dem Rohmaterial die Magnesia zusetzen, so würde diese mit den übrigen Bestandtheilen des Cementes der Weißglühhitze ausgesetzt und erhielte eine hohe specifische Dichte. Große Mengen derselben würden daher schädliche Wirkungen ausüben, indem allmälig ein Lockern dieser Dichte, Aufschwellen und Ausdehnen stattfindet.

Das Verfahren zur Herstellung dieses verbesserten Cementes ist folgendes: Die durch Brennen bei geringer Temperatur erhaltene Magnesia oder reichlich Magnesia haltende Substanz wird in pulverisirtem Zustande innigst mit gepulvertem Portlandcement gemischt, dessen Rohmaterial keine Magnesia enthält. Der höchste Zusatz von Magnesia beträgt auf 100 Thle. Cement etwa 30 Thle. Magnesia; für relativ fetten Mörtel sind geringe Zugaben zweckmäßig, etwa von 1 bis 5 Proc. Je magerer der Mörtel gehalten wird, desto mehr empfehlen sich größere Beigaben.

Aus Versuchen mit diesem Cemente ergaben sich nachstehende Resultate: Ein guter Portlandcement hatte mit 6 Thln. Sand nach einem Monate 6 kg Zugfestigkeit pro Quadratcentimeter, nach zwei Monaten 8 kg. Derselbe Cement, mit 5 Proc. Magnesia vermischt, ergab mit 6 Thln. Sand eine Zugfestigkeit von 9,5 kg nach einem und 13,5 kg nach zwei Monaten. Bei einer Zumischung von 10 Thln. Sand zeigte der unversetzte Cement nach einem Monate 3,5, nach zwei Monaten 5 kg Zugfestigkeit, während der mit 5 Proc. Magnesia vermischte Cement 7 beziehungsweise 9,5 kg Zugfestigkeit hat. Mit 20 Thln. Sand vermischt, hatte der unversetzte Cement nach $2^1/_2$ Monaten 3 kg, bei 5 Proc. Magnesiazusatz hingegen $6^1/_2$ kg und bei 10 Proc. Magnesiazusatz 9 kg Zugfestigkeit. Es liegt also hier der Schwerpunkt in den hohen Sandzusätzen und sind bei

Anwendung von Magnesia Sandmengen möglich, die für gewöhnliche Cementverarbeitungen ganz ungewöhnlich sind. Selbstverständlich muß mit der Höhe der Sandzugaben auch die Beimischung von Magnesia gesteigert werden.

Für Betonirungen direct unter Wasser wird bis jetzt gewöhnlich sehr fetter, d. h. sehr viel Cement enthaltender Mörtel genommen, weil man darauf rechnet, daß das sich bewegende Wasser den Cement aufschlemmt und zum großen Theil unwirksam macht, und daß aus diesem Grunde zur Vorsicht ein ganz bedeutendes Mehr an Cementsubstanz gleich von Hause aus vorhanden sein muß. Wird nun ein Magnesiazusatz angewendet, so wird in Folge der klebrigen Beschaffenheit der angenäßten Magnesia das Entwaschen viel mehr erschwert, ferner wird der Cement durch die viel feiner zertheilte Magnesia umhüllt und so vor dem Verderben erheblich geschützt.

In den letzten Jahren ist Portlandcement auch öfters mit minderwerthigen Stoffen versetzt in den Handel gebracht worden, namentlich wurde zum Vermischen Schlackenmehl verwendet, wohl auch aus dem Grunde, weil die meisten Schlackenmehle eine gefällige graugrüne Farbe haben, der des Portlandcementes ähnlich, und weil dieselben eine solche chemische Zusammensetzung besitzen, daß es schwer wird, durch die Analyse eine Beimischung nachzuweisen. Der Zusatz von Schlackenmehl wurde sogar von einer Seite als eine Verbesserung des Portlandcementes bezeichnet.

Zur Frage der Zumischung minderwerthiger Körper zum Portlandcement hat nun der Verein Deutscher Cementfabrikanten Stellung genommen und Versuche bezüglich des Verhaltens reiner und gemischter Cemente anstellen lassen, über deren Resultate in den Generalversammlungen des genannten Vereins 1883 und 1884 berichtet wurde; die für diese Frage wichtigsten Resultate sind im Nachstehenden zusammengestellt[1]).

Zunächst machte F. Böhme, Vorstand der königlichen Prüfungsstation für Baumaterialien in Berlin, die Mittheilung, daß bei seinen umfassenden Versuchen über den Einfluß von Zumischungen er bei gemischtem Cement niemals eine Erhöhung der Zugfestigkeit gegenüber der des unvermischten Cementes gefunden habe; ferner, daß bei Untersuchung auch auf Druckfestigkeit der gemischte Cement einen geringeren Werth des Quotienten: $\frac{\text{Druckfestigkeit}}{\text{Zugfestigkeit}}$ liefere als der unvermischte Cement.

Diese generellen Mittheilungen fanden umfassende Bestätigung in den Ergebnissen von speciellen Versuchen R. Dyckerhoff's (Amöneburg). Dieselben sind in den drei nachstehenden Tabellen zusammengestellt und sie veranschaulichen klar die Wirkung, welche verschiedene fein gepulverte Zusätze zum Portlandcement auf die Festigkeit desselben sowohl bei kurzer als längerer Erhärtungsdauer ausüben.

---

[1]) Thonind.-Ztg. 1883, Nr. 17. Deutsche Bauzeitung 1884, Nr. 25 und 26. Dr. Frühling, Thonind.-Ztg. 1883, S. 380. Wagner's Jahresber. d. chem. Technologie 1883, S. 631.

Tab. 1. Cement A (von 9 Stunden Bindezeit)	Zugfestigkeit kg pro qcm nach 4 Wochen	26 Wochen	52 Wochen
100 Thle. Cement + 300 Thle. Sand	21,2	27,6	31,1
80 " " + 20 " Schlackenmehl + 300 Thle. Sand	18,5	24,5	26,7
80 " " + 20 " Traß + 300 " "	19,0	22,7	30,2
80 " " + 20 " Kalkstein + 300 " "	16,7	22,6	25,2
80 " " + 20 " Kalkhydrat + 300 " "	15,5	23,0	24,6

Tab. 2. Cement B (von 7 Stunden Bindezeit)	Geprüft nach Wochen	Zugfestigkeit in kg pro qcm: Ohne Zusatz	mit Schlackenmehl	mit Feinsand	mit Kalkstein	mit Kalkhydrat
Rein und mit 10 Proc. Zusatz	4	20,8	18,4	18,2	18,2	19,0
	13	24,5	22,8	21,1	22,0	21,8
	26	27,1	24,5	26,6	26,4	26,5
20 Proc. Zusatz	4	—	15,4	15,7	16,1	15,1
	13	—	19,3	19,7	19,3	19,3
	26	—	22,8	24,7	24,7	23,7
33 Proc. Zusatz	4	—	13,5	13,9	13,6	10,2
	13	—	16,2	17,7	17,5	14,5
	26	—	20,4	21,8	21,6	18,7
Tab. 3. Cement C (von 14 Stunden Bindezeit)						
Rein und mit 10 Proc. Zusatz	4	20,9	20,2	18,5	20,0	19,4
	13	24,5	22,9	24,1	24,2	22,6
	26	27,5	26,4	26,6	26,1	24,6
20 Proc. Zusatz	4	—	16,4	16,0	16,9	17,1
	13	—	20,6	23,2	20,0	20,7
	26	—	22,4	23,6	22,7	22,1
33 Proc. Zusatz	4	—	14,4	14,6	14,8	11,9
	13	—	19,2	19,9	18,0	16,1
	26	—	19,5	21,5	19,0	18,1

Die Zahlen dieser drei Tabellen, welche ausschließlich die Zugfestigkeit berücksichtigen, beweisen klar, daß der Schlackenmehlzusatz in seiner Wirkung auf die Zugfestigkeit nicht mehr leistet als Sand, sondern hinter Sand, wenn dieser mit einiger Sorgfalt ausgewählt wird, noch zurück steht. Im

Uebrigen bedürfen die Zahlen der Tabelle eines Commentars nicht, wie ebenso wenig die Zahlen der nun folgenden Tabelle 4, welche sich außer auf Zug- auch auf die Druckfestigkeit der untersuchten Cemente beziehen. Die Proben auf Druckfestigkeit wurden mit kreisförmigen Platten von 22,5 mm Dicke und 40 qcm Oberfläche durchgeführt; beiläufig ist auf die scharfe Grenze hinzuweisen die zwischen reinem und gemischtem Cement durch den Unterschied der specifischen Gewichte gezogen ist.

Tab. 4.

Verhalten von reinen und gemischten Cementen bei der Verarbeitung zu Cement-Kalkmörtel.

Cementsorte	Normenprobe kg	Cement-Kalkmörtel aus 1 Thl. Cement = 6 Thle. Sand und 0,5 Thle. Kalkhydrat		Art der Beimischung	Spec. Gew.
		Zugfest. nach 28 Tagen kg pro qcm	Druckfest. nach 28 Tagen kg pro qcm		
A reiner Cement	22,5	12,5	280,0	Reine	3,170
B „ „	21,8	11,8	245,0	„	3,129
C „ „	15,7	9,0	195,8	„	3,168
D „ „	18,1	11,1	212,0	„	3,119
D_1 vermischter Cement . . .	13,3	6,3	124,0	Kalk	3,027
E „ „ . . .	15,6	5,7	125,0	Kalksilicat	3,072
E_1 „ „ . . .	13,6	4,6	122,0	„	3,067
F „ „ . . .	12,4	4,9	104,0	Kalk	3,090

Das Ergebniß dieser Versuche ist daher kurz zusammengefaßt folgendes:

Durch die Zumischung fremder Körper wird weder für den Anfang noch für die Folge irgend eine Verbesserung der Qualität von Portlandcement erreicht.

Ein Zusatz von Schlackenmehl ist durch einen gleichen Zusatz von Sand, was die sowohl sofort als auch für die Dauer zu erlangende Festigkeit betrifft, vertretbar.

Hierzu sei noch bemerkt, daß in der Generalversammlung des Vereins Deutscher Cementfabrikanten allerseits, und zwar mit vollem Recht, anerkannt wurde, daß ein Verfahren der Zumischung minderwerthiger Körper zum Portlandcement geeignet wäre, den guten Ruf der Solidität, welchen sich die deutsche Cementfabrikation sowohl bei dem deutschen bautechnischen Publicum, als auch bei den Abnehmern im Auslande erworben habe, aufs Tiefste zu schädigen und daß der Verein es sich zur Aufgabe zu machen habe, mit Hülfe bewährter Prüfungsmethoden etwaige Zumischungen festzustellen und auf allen gesetzlich offen stehenden Wegen gegen solche vorzugehen, die das Mischverfahren üben, ohne dasselbe zu verlauten.

Auf der VI. Generalversammlung des Vereins Deutscher Cementfabrikanten wurden auch nachstehende sechs Thesen fast allgemein angenommen:

1. Portlandcement ist ein Product, entstanden durch innige Mischung von Kalk und Thon als wesentlichen Bestandtheilen, darauf folgendes Brennen bis zur Sinterung und Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit.

2. Jedes Product, welches auf andere Weise entstanden ist, oder welchem während oder nach dem Brennen fremde Körper beigemischt worden, ist nicht als Portlandcement zu betrachten. Ein Zusatz bis zu 2 Proc. Gyps ist jedoch gestattet.

3. Der Verkauf von Cement, welcher Zumischungen fremder Körper enthält, unter der Bezeichnung Portlandcement, ist daher als eine Täuschung des Consumenten zu betrachten.

4. Guter Portlandcement wird durch Zumischung fremder Körper — wie Kalksilicat (Hohofenschlackenmehl ꝛc.), Traß, gemahlener Thonschiefer und Kalkstein u. s. w. — nicht verbessert.

Aber selbst, wenn im einzelnen Falle der Nachweis einer Verbesserung in Folge von Zumischungen zu erbringen wäre, sind solche dem Fabrikanten nicht zu gestatten, aus dem Grunde, daß der Consument außer Stande ist, Menge und Qualität der Zumischungen so weit zu controliren, um sich gegen Mißbrauch schützen zu können.

5. Jede Zumischung ist als Beginn der Mörtelbereitung anzusehen und wird demnach niemals Sache des Producenten sein, sondern ist dem Consumenten zu überlassen.

6. Da die Normenprobe seiner Zeit für nicht mit fremden Körpern gemischten Portlandcement aufgestellt worden ist, da ferner der besondere Charakter des Portlandcementes durch Zumischungen geändert wird, so können die Normenbestimmungen zu Vergleichen zwischen gemischtem und ungemischtem Portlandcement nicht angewendet werden.

Hinsichtlich der Auffindung von Methoden zur qualitativen und quantitativen Feststellung von stattgefundenen Zumischungen zum Portlandcement wurden in den letzten Jahren von vielen Seiten[1]) Versuche angestellt, worunter als die umfassendsten die von R. und W. Fresenius auf Veranlassung des Vereins Deutscher Cementfabrikanten angestellten zu bezeichnen sind[2]). Denselben wurden zu diesem Zwecke von dem Vorstande des genannten Vereins zwölf Proben unvermischten Cementes, die aus deutschen, englischen und französischen Fabriken bezogen waren, nebst drei Sorten hydraulischen Kalks, drei Sorten an der Luft zu Pulver zerfallenes Schlackenmehl und zwei Sorten gemahlene Schlacken geliefert.

Die Versuche erstreckten sich auf

a) Bestimmung des specifischen Gewichtes,
b) Bestimmung des Glühverlustes,

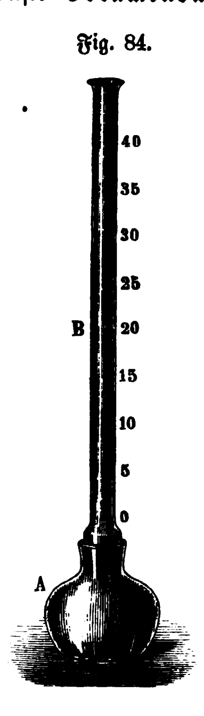
---

[1]) Dr. C. Heintzl, Thonind.-Ztg. 1883, Nr. 2.
[2]) Zeitschr. f. analytische Chemie von Dr. R. Fresenius 1884, S. 175.

c) das Verhalten zu Wasser, resp. die Alkalinität der Wasserlösung,
d) das Verhalten zu verdünnter Säure,
e) das Verhalten zu Chamäleonlösung,
f) das Verhalten zu gasförmiger Kohlensäure.

Das specifische Gewicht wurde nach der Methode von Dr. Schumann[1]) mittelst des von ihm construirten Volumenometer bestimmt. Diese Methode beruht darauf, daß man den durch eine gewogene Quantität des Cementes eingenommenen Raum ermittelt, indem man den Cement in ein mit Terpentinöl gefülltes Gefäß bringt und beobachtet, um wieviel das Niveau der Flüssigkeit steigt. Dieser Volumenometer[2]), in Fig. 84 abgebildet, besteht aus einem etwa 100 bis 150 ccm fassenden Gefäße und einem mit Hülfe eines Glasschliffes eingesetzten Rohre, welches 40 ccm faßt und in $1/_{10}$ ccm eingetheilt ist. Beim Gebrauche nimmt man das Rohr *B* von dem Kolben *A* ab, füllt letzteren zunächst bis an den Hals mit Terpentinöl, trocknet, wenn nöthig, Kolben und Röhrenende mit Fließpapier ab und dreht dann das graduirte Rohr *B* fest auf den Kolben ein; dann gießt man mittelst einer Pipette Terpentinöl bis zum Nullpunkte ein. Hierauf läßt man durch einen aufgesetzten Glastrichter mit einem Rohr 100 g Cement, bis auf Milligramm genau abgewogen, portionsweise vorsichtig in das Rohr hinabgleiten, wobei man nur darauf zu achten hat, daß das Rohr sich nicht verstopft (eventuell hilft man durch Aufklopfen und Schütteln des Apparates nach). Der Cement sinkt sofort unter, die Luft entweicht aus dem Pulver momentan und das Terpentinöl steigt in dem Maße in der Röhre empor, als der Cement in *A* Flüssigkeit verdrängt. Nachdem aller Cement eingefüllt ist, verschließt man das Rohr *B* mit einem Korkstopfen (zur Vermeidung der Verdunstung während des Absetzens) und läßt die Flüssigkeit sich soweit klären, als für ein genaues Ablesen des Niveaus (unterer Meniscus) erforderlich ist, was nach beiläufig 10 bis 15 Minuten der Fall, und notirt den Stand der Flüssigkeit. Durch Division mit der gefundenen Zahl der Cubikcentimeter ergiebt sich das specifische Gewicht.

Fig. 84.



Zur Vermeidung von Messungsfehlern ist es nothwendig, daß Cement, Apparat und Terpentinöl längere Zeit im Versuchsraume neben einander gestanden haben, damit sie beim Versuche die gleiche Temperatur besitzen, und daß während

---

1) Thonind.-Ztg. 1883, S. 236.

2) Der Volumenometer nach Dr. Schumann kann von Dr. H. Geißler's Nachfolger, Franz Müller in Bonn für 7 Mark bezogen werden.

der Versuchsdauer die Temperatur sich nicht ändert. Beobachtet man diese Vorsichtsmaßregeln, so erhält man bei sorgfältigem Manipuliren in zwei Versuchen mit derselben Probe Differenzen, die erst in der dritten Decimale abweichen.

Der Glühverlust wurde durch Glühen von etwa 2 g in einem Platintiegel über einer einfachen Bunsen'schen Lampe mit Schornstein bis zu constantem Gewicht bestimmt.

Das Verhalten zu Wasser ist insofern ein charakteristisches, als die verschiedenen Materialien bei gleichartiger Behandlung verschiedene Mengen von alkalisch reagirenden Bestandtheilen an das Wasser abgeben. Die Versuche wurden in der Weise ausgeführt, daß 1 g fein gepulverter Substanz (durch das 5000-Maschensieb ohne Rückstand hindurchgehend) mit 100 ccm destillirtem Wasser bei gewöhnlicher Temperatur 10 Minuten lang geschüttelt wurde; hierauf wurde durch ein trockenes Filter filtrirt und 50 ccm des erhaltenen Filtrates mit $^1/_{10}$ Normalsalzsäure titrirt.

Das Verhalten zu verdünnter Säure wurde in der Weise untersucht, daß 1 g der fein gepulverten Substanz (auf dem 5000-Maschensiebe keinen Rückstand lassend) mit einer Mischung von 30 ccm Normalsalzsäure und 70 ccm Wasser 10 Minuten lang unter Umschütteln behandelt wurde. Von der durch Absitzenlassen oder Filtriren durch ein trockenes Filter klar erhaltenen Lösung wurden 50 ccm mit Normalnatronlauge zurücktitrirt und daraus berechnet, wie viel Cubikcentimeter Normalsalzsäure von 1 g der Substanz neutralisirt worden waren.

Das Verhalten zu Chamäleonlösung wurde in der Weise untersucht, daß 1 g des fein gepulverten Cementes mit etwa 150 ccm einer Mischung von einem Theil verdünnter Schwefelsäure (specifisches Gewicht 1,12) und zwei Theilen Wasser behandelt und in die Flüssigkeit Chamäleonlösung (24,20 ccm entsprachen 0,2 g Eisen, als Oxydul gelöst) bis zur bleibenden Rothfärbung eingetröpfelt wurde. Da die Rothfärbung beim längeren Stehen sehr häufig durch Nachbleichen wieder verschwindet, so wurde der Endpunkt für erreicht gehalten, wenn die Flüssigkeit einige Minuten lang roth blieb. 1 g Portlandcement entfärbte zwischen 0,17 bis 0,63 ccm, entsprechend 0,79 bis 2,8 mg übermangansauren Kalis. Von derselben Chamäleonlösung wurden für die verschiedenen Schlackenmehlsorten bei gleicher Behandlung auf 1 g 9,5 bis 16 ccm, entsprechend 44,34 bis 74,67 mg übermangansauren Kalis verbraucht. Dieser große Unterschied rührt daher, daß im Portlandcement das Eisen fast ausschließlich als Oxyd vorhanden ist, während es sich im Schlackenmehl nur in Form von Oxydul findet.

Das Verhalten zu gasförmiger Kohlensäure wurde studirt, um zu sehen, ob der sogenannte freie Kalk, der im Portlandcement nicht vorkommen soll, dagegen im hydraulischen Kalk vorhanden ist, sich auf diese Weise auffinden läßt und dadurch eine Erkennung des Zusatzes von hydraulischem Kalk möglich macht. Die Versuche wurden so ausgeführt, daß etwa 3 g des fein gepulverten (auf dem 5000-Maschensiebe keinen Rückstand lassenden) Körpers in einem gewogenen Glasrohr bei gewöhnlicher Temperatur etwa zwei Stunden lang (jedenfalls bis zu constantem Gewichte) der Wirkung eines erst durch Schwefelsäure getrockneten Kohlensäurestromes ausgesetzt wurden. Damit hierbei das durch die

Kohlensäure aus Kalkhydrat etwa ausgetriebene Wasser nicht entweichen konnte (wodurch die Kohlensäureaufnahme zu gering erschienen wäre), war in dem Glasrohr am einen Ende zwischen zwei Asbestpfropfen eine kleine Chlorcalciumschicht angebracht, die mit gewogen wurde und so das sonst entweichende Wasser zurückhielt.

Die in den besprochenen Versuchsreihen erhaltenen Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Bezeichnung	Spec. Gew.	Glühverlust Proc.	Alkalinität der Wasserlösung von 0,5 g entsprechend 1/10 ccm Normalsäure	1 g verbraucht ccm Normalsäure	1 g reducirt mg übermangansaures Kali	3 g absorbiren mg Kohlensäure
Portlandcemente:						
A	3,155	1,58	6,25	20,71	0,79	1,4
B	3,125	2,59	4,62	21,50	2,38	1,6
C	3,155	2,11	4,50	20,28	0,93	1,8
D	3,144	1,98	5,10	21,67	1,12	1,0
E	3,144	1,25	6,12	19,60	0,98	1,6
F	3,134	2,04	4,95	20,72	1,21	1,1
G	3,144	0,71	4,30	20,20	0,89	0,0
H	3,125	1,11	4,29	20,30	1,07	0,7
I	3,134	1,00	4,00	19,40	2,01	0,0
K	3,144	0,34	4,21	20,70	0,98	0,0
L	3,154	1,49	4,60	18,80	2,80	0,3
M	3,125	1,25	5,50	20,70	2,33	0,0
Hydraulische Kalke:						
A	2,441	18,26	20,23	21,35	1,40	27,8
B	2,551	17,82	22,73	26,80	0,93	47,7
C	2,520	19,60	19,72	19,96	0,98	31,3
Schlackenmehle:						
A	3,012	0,76	0,91	14,19	74,67	3,6
B	3,003	1,92	0,70	13,67	60,67	3,5
C	2,967	1,11	1,00	9,70	44,34	2,9
Gemahlene Schlacken:						
I	3,003	0,32	0,31	3,60	64,40	2,4
II	2,873	0,43	0,11	8,20	73,27	2,2

Aus den Zahlen dieser Tabelle ist ersichtlich, daß reine Portlandcemente, wie auch Dr. Schumann gefunden hat, nicht unter 3,1 spec. Gew. zeigen, während die Verfälschungsmittel stets ein mehr oder weniger unter diesem Werthe stehendes specifisches Gewicht haben; der Glühverlust ergiebt namentlich zwischen den Portlandcementen und hydraulischen Kalken einen bedeutenden Unterschied; das Verhalten zu Wasser zeigt einen erheblichen Unterschied zwischen Portlandcement und hydraulischem Kalk und eine etwas geringere im umgekehrten Sinne zwischen Portlandcement und Schlackenmehl. Bei den Versuchen mit verdünnter Säure sind die erhaltenen Zahlen für die Schlackenmehle niedriger als für die Portlandcemente, so daß dieses Verhalten unter Umständen zur Entdeckung von Schlackenmehlbeimischung dienen kann. In dem Verhalten zu Chamäleonlösung ist ein bedeutender Unterschied zwischen Portlandcement und Schlackenmehl zu bemerken. Das Verhalten zu gasförmiger Kohlensäure kann zur Erkennung des hydraulischen Kalkes verwerthet werden.

Nach R. und W. Fresenius lassen sich daher die in obiger Tabelle enthaltenen Maximal- und Minimalzahlen für Portlandcemente als Grenzwerthe betrachten und zwar in dem Sinne, daß man von jedem reinen Portlandcement verlangen kann, daß er, in der oben beschriebenen Weise geprüft, zeigt:

a) Ein specifisches Gewicht von mindestens 3,125, jedenfalls nicht geringer als **3,1**.

b) Einen Glühverlust zwischen **0,34** und **2,59** Proc., jedenfalls nicht erheblich höher.

c) Eine Alkalinität der Wasserlösung von 0,5 g Cement entsprechend 4 bis **6,25** ccm $^1/_{10}$ Normalsäure.

d) Einen Verbrauch von Normalsäure bei der directen Behandlung von 1 g Cementpulver zwischen **18,80** und **21,67** ccm, jedenfalls nicht wesentlich weniger.

e) Eine Reductionswirkung gegen Chamäleonlösung, so daß 1 g Cement entspricht zwischen **0,79** und **2,80** mg übermangansaurem Kali, jedenfalls nicht erheblich mehr.

f) Eine Kohlensäureaufnahme durch 3 g Cement von **0 bis 1,8** mg.

Liefert ein Cement bei der Untersuchung Werthe, welche nicht in diese Grenzen fallen, so ist er verdächtig, verfälscht zu sein, oder auch mit Sicherheit als verfälscht zu betrachten.

Es ist dabei zu berücksichtigen, daß bei einer Verfälschung mit Schlackenmehl nur die Proben a, c, d und e der Tabelle Werthe liefern können, die eventuell ganz außerhalb der Grenzen liegen und daß umgekehrt bei einem Zusatz von hydraulischem Kalk nur die Prüfungen a, b, c und f zur Erkennung der Verfälschung Anhaltspunkte bieten können.

Um die Schärfe der in Rede befindlichen Prüfungsmethode zu demonstriren sind von Dr. Fresenius einige Proben an absichtlich hergestellten Mischungen, sowie an zwei aus dem Handel entnommenen der Mischung verdächtigen Cementen, mit X und Y bezeichnet, ausgeführt worden. Die dabei erlangten Resultate zeigt folgende Tabelle, in der die entscheidenden Zahlen durch fetten Druck kenntlich gemacht sind:

Angaben über Zusammensetzung der Mischung	Specif. Gewicht	Glühverlust	Alkalinität der Wasserlösung von 0,5 g, entspr. $^1/_{10}$ ccm Normalsäure	1 g verbraucht ccm Normalsäure	1 g reducirt mg übermangans. Kali	3 g absorbiren mg Kohlensäure
1. 1 Thl. hydraul. Kalk (B) 9 Thle. Portl.-Cem. (K)	3,067	1,90	6,50	20,50	Nicht best.	4,6
2. 1 Thl. hydraul. Kalk (A) 9 Thle. Portl.-Cem. (E)	3,053	2,53	8,20	20,04	Nicht best.	3,6
3. 1 Thl. Schlackmhl. (B) 9 Thle. Portl.-Cem. (C)	3,114	2,04	3,8	19,53	6,11	1,6
4. 1 Thl. gemahlene Schlacke (II) 9 Thle. Portl.-Cem. (D)	3,115	1,59	4,00	20,60	8,31	0,7
5. Cement X	3,021	3,73	6,14	19,00	2,10	8,7
6. Cement Y	3,048	0,55	4,55	17,20	36,40	1,2

Mit Bezug auf die ad a) bis f) oben aufgestellten Kriterien erweisen diese Zahlen für die Proben ad 1. und 2. die stattgefundene Zumischung von hydraulischem Kalk, für die Proben ad 3. und 4. die stattgefundene Zumischung von Schlackenmehl, für den Cement X eine Zumischung mit hydraulischem Kalk oder einem ähnlichen Material und für den Cement Y eine Zumischung von Schlackenmehl. In allen Fällen sind die gewonnenen Indicien von ausreichender Schärfe.

Aus den angeführten Beispielen läßt sich zur Genüge ersehen, daß sich fremde Beimischungen mit Hülfe der angegebenen Prüfungen im Portlandcement fast in allen Fällen werden erkennen lassen.

Andere Beimischungen, wie gemahlener Thonschiefer, Kalkstein, Thon, Sand, Asche rc. sind so leicht in dem damit vermischten Cement aufzufinden, daß diese Materialien in neuerer Zeit wohl kaum mehr Anwendung zur Verfälschung finden. Durch diese Beimischungen wird das Verhalten der Portlandcemente fast immer so geändert, daß sie bei den Prüfungen ein anormales Verhalten zeigen. So wird z. B. zugemahlener, ungebrannter Kalkstein den Glühverlust erhöhen und ist auch leicht an der starken Kohlensäureentwickelung bei der Einwirkung von Säuren erkenntlich; zugemischter Thonschiefer wird den Säureverbrauch vermindern, und läßt sich auch leicht dadurch auffinden, daß der Cement sich beim Behandeln mit Salzsäure ganz aufschließt, während der Thonschiefer als unangegriffener, unlöslicher Rückstand verbleibt.

Asche, Thon und Sand lassen sich dadurch nachweisen, daß man eine Probe des zu prüfenden Cementpulvers in ein hohes, nicht zu breites Glas schüttet, dann reichlich Wasser darauf gießt, und die Masse tüchtig umrührt. Bei Beimischung von Thon und Asche wird das Wasser stark getrübt und es lagern sich diese Bestandtheile beim Stehenlassen in den oberen Schichten ab, die eine von der übrigen Masse ganz abweichende Färbung zeigen. Sand lagert sich dagegen

vorzugsweise in den unteren Schichten ab, und bleibt bei Behandlung mäßig starker Salzsäure unlöslich und deutlich erkennbar zurück.

d. Anderweitige Cemente.

Unter dem Namen Medinacement bringt die Firma Francis Brothers u. Pott in London einen Cement in den Handel, der nach Prof. Manger nachstehende Zusammensetzung hat[1]):

Kalkerde	45,73
Bittererde	5,28
Thonerde	9,74
Eisenoxyd	8,67
Kieselsäure	16,81
Kali	1,55
Natron	0,52
Kohlensäure	5,43
Mangan, Phosphorsäure, Schwefel	Spuren
Sand	4,31
Wasser	1,43
	99,47

Dieser Cement scheint aus Dolomit und eisenhaltigem Thon dargestellt zu sein; er soll dem Seewasser besser wie Portlandcement widerstehen, steht aber in der Festigkeit bedeutend hinter dem Portlandcement zurück.

Von der Vorwohler Portlandcementfabrik Prüssing, Plank u. Co. in Holzminden wird ein Cement aus Hohofenschlacken, Kalkhydrat und Wasserglas auf folgende Weise (D. R.-P. Nr. 22 299 vom 8. Juli 1882) dargestellt[2]): Pulver von Kalkhydrat wird mit Schlackenmehl vermischt und mit so viel Wasserglaslösung (am vortheilhaftesten zweiprocentig) versetzt, daß die Masse erstarrt. Aus derselben werden unter hohem Druck Steine gepreßt, die dann bei Luftabschluß und in einem reducirenden Gasstrome gar gebrannt werden. Diese Art des Brennens soll die Bildung von mangansaurem Kalk verhindern, der den Cement stark treibend macht.

L. Roth in Wetzlar ließ sich ein Verfahren zur Darstellung von Cement aus Bauxit und Hohofenschlacke patentiren (D. R.-P. Nr. 19 800 vom 2. Februar 1882 und Nr. 25 982 vom 1. Juli 1883[3]). Nach demselben werden die trocken gemengten Rohmaterialien, Schlackenmehl, Bauxit und Kalkstein oder Kreide (auch die gewöhnliche Rohmischung für Portlandcement kann hierzu benutzt werden) mit Carnallitlösung zu einem Teige angemacht, der in Ziegel geformt wird; die Ziegel werden getrocknet, gebrannt und gemahlen. Der Carnallit kann auch in Pulverform der Mischung hinzugesetzt werden, die dann mit

---

[1]) Wagner's Jahresber. d. chem. Technologie 1870, S. 360.
[2]) Thonind.-Ztg. 1883, S. 237.
[3]) Chemiker-Ztg. 1884, Nr. 21.

Wasser versetzt wird; ebenso kann auch das nasse Mischverfahren angewendet werden.

Zur Herstellung von Cement aus Hohofenschlacke mischt man auf den Tees Iron Works in Middlesbrough 4 Thle. Schlacke mit 7 Thln. Kalkstein und brennt die Mischung in gewöhnlichen Cementöfen [1]).

J. Watson will zu gleichem Zwecke Hohofenschlacke in passendem Verhältnisse mit Kalk und Thon gemischt brennen [2]).

Zernikow in Oderberg i. M. nahm auf ein Verfahren zur Herstellung von hydraulischem Kalk durch Kochen und Glühen von Ziegelmehl-Kalkmörtel ein Patent (D. R.-P. Nr. 3774 [3]). Die Verbindung von Kieselsäure beziehungsweise Thonerde ist es, der nach dem Patentinhaber ein hydraulischer Mörtel seine Eigenschaften verdankt. Thon- und Kieselerde gehen auch auf nassem Wege mit Kalk eine chemische Verbindung ein; darauf gründet sich das nachstehende patentirte Verfahren: Man mengt Ziegelmehl mit Kalk (entweder im gelöschten Zustande oder als gepulverter Aetzkalk) und kocht dieses Gemenge so lange, bis die Ziegelmehltheile mit einer dünnen Schicht von kieselsaurem Kalk überzogen sind. Werden die Ziegelmehltheile dann geglüht, so nehmen sie statt ihrer ersten (röthlichen) eine gelbgraue Farbe an. Für die bautechnische Verwendung scheint es irrelevant zu sein, ob der für die Praxis erfahrungsmäßig nothwendige Kalk (etwa 50 Proc.) gleich von vornherein dem Gemenge zugesetzt wird, oder ob man sich darauf beschränkt, nur so viel Kalk zuzusetzen, als zur Silicatbildung von dem Ziegelmehl gefordert wird, um den gebrannten, gepulverten Kalk dann später beizumengen. Nimmt man nur so wenig Kalk, als zur Silicatbildung nöthig ist, so erhält man ein mageres Pulver, welches eine dem Traß ähnliche Verwendung gestattet. Durch innige Mischung mit gepulvertem, gebranntem Kalk kann man daraus einen hydraulischen Kalk herstellen, der den vierfachen Sandzusatz zuläßt und dabei gut in der Luft wie unter Wasser erhärtet.

Nicholson stellt künstliche Puzzolanerde dar, indem er Thon mit fettem Kalkbrei mengt, das Gemisch in Ziegel formt, diese trocknet, brennt und fein mahlt [4]).

P. Spence (Manchester) bereitet Cement aus dem Gaskalk und aus den Rückständen der Alaunfabrikation. Beide werden fein gemahlen und im Verhältniß von 2:1 gemischt, dann mit einer Lösung von Zinkvitriol (1 auf 4,5 Wasser) angemacht, in Ziegel geformt, welche man trocknet, bei gelinder Wärme im Kalkofen brennt und mahlt. Der Zusatz von Zinkoxyd soll die Entstehung von Flechten auf dem Cement verhüten [5]).

Einen weißen Cement für feinere architektonische Verzierungen stellt H. Creuzburg auf folgende Weise dar [6]): Thon und gebrannter Kalk, beide gepulvert, werden im Verhältniß von 1:2 oder zu gleichen Theilen gemischt und

---

1) Wagner's Jahresber. d. chem. Technologie 1880, S. 499.
2) Ebendaselbst, 1880, S. 499.
3) Dingl. pol. J. 232, 285.
4) Wagner's Jahresber. d. chem. Technologie 1875, S. 757.
5) Dingl. pol. J. 162, 318.
6) Dingl. pol. J. 163, 356.

mit einer Sodalösung, die $^1/_4$ Pfund Soda in einem Liter enthält, zu einem zähen Teige angemacht und so lange durch einander gearbeitet, bis eine völlig homogene Masse gebildet ist; dann wird die Masse in Backsteinform gebracht, getrocknet und gebrannt; der gebrannte Cement wird zerrieben. Dieser weiße Cement kann auch als Grundlage für farbige Cemente dienen.

Nach O. Fahnejelm werden, um einen weißen Cement herzustellen, 75 Thle. reine geschlämmte Kreide mit 25 Thln. geschlämmten Kaolin vermengt, in Rothglühhitze gebrannt und dann gemahlen. Derselbe soll sich zur Verfertigung von Kunstwerken und feineren Bauornamenten ausgezeichnet eignen; durch Tränken mit einer Wasserglaslösung kann man die Oberfläche härten und ihnen eine noch größere Widerstandsfähigkeit geben [1]).

Ein Cement, welcher sich durch schöne Farbe auszeichnet und sich zu künstlerischen Ausschmückungen eignet, wird nach Ransome dadurch erhalten [2]), daß man dem vorher gut geschlämmten Thone Kaolin und Kreide zusetzt und die Mischung in Retorten brennt, so daß die directe Einwirkung der Verbrennungsproducte auf die Masse ausgeschlossen ist. Dieser Cement hat ein schönes marmorartiges Ansehen und nimmt in wenigen Stunden eine außerordentliche Härte an. Eine Beimischung von löslicher Kieselsäure (Infusorienerde) verbessert die Masse und wird als die beste Mischung 60 Thle. Kalk, 22 Thle. Kieselsäure und 12 Thle. Thonerde angegeben. Da sich der Preis dieses Cementes höher stellt als bei Portlandcement, so können für eine billigere Sorte granulirte Hohofenschlacken verwendet werden und zwar in dem Verhältnisse von gleichen Theilen Schlacke und Kreide oder ein Theil Schlacke und zwei Theile Kreide; das Gemisch wird dann bei mäßiger Hitze gebrannt, wodurch ein Cement von gelblichweißer Farbe erhalten wird.

Zur Herstellung eines weißen Cementes werden nach W. Berkefeld in Celle bei Hannover 25 Thle. eisenfreie Kieselguhr (Infusorienerde) und 75 Thle. eisenfreie Kreide mit einer Lösung von 3,5 Thln. Pottasche oder Soda angemacht und in Ziegel geformt; diese werden getrocknet, in Weißgluth gebrannt und gemahlen (D. R.-P. Nr. 16 755 vom 1. Mai 1881).

Zur Darstellung eines weißen gießbaren Cementes, der mit Wasser nicht erhärtet, dagegen mit einer Wasserglaslösung zu einer festen Masse erstarrt, mischt man nach C. Heintzel in Lüneburg (D. R.-P. Nr. 23 205 vom 17. September 1882) reine eisenfreie Kreide mit möglichst eisenfreiem Quarz, formt aus solcher Mischung Ziegel und brennt dieselben bei Weißgluth. Das gemahlene Product wird mit Wasserglaslösung zu dünnflüssigem Brei angerührt und in Formen gegossen. Dieser Guß erhärtet rasch und eignet sich für Gußstücke in Leimformen vortrefflich. Zu größeren Güssen wird das Cementmehl noch mit der gleichen Menge weißen feinen Sandes vermengt. Hierdurch soll die leichte Gießbarkeit des Cementbreies vermehrt, die Abbindefähigkeit und Festigkeit des Gusses kaum vermindert werden, während der Kostenpunkt bedeutend niedriger gestellt wird. Der Cement ist wasserbeständig.

---

[1]) Notizbl. d. Vereins f. Fabrik. v. Thonwaaren ꝛc. 1876, S. 125.
[2]) Thonind.-Ztg. 1879, S. 366.

Nach Aug. Seibel in Stettin[1]) werden gleiche Aequivalente Kieselsäure und Aetzkalk mit Chlorcalcium- oder Kochsalzlösung angemacht und geglüht, wodurch ein rasch erhärtender Cement erhalten werden soll. Auch Kieselsäure allein mit Chlorcalcium geglüht und nachher mit Aetzkalk gemischt soll einen Cement geben.

e. Erhärtungsproceß der hydraulischen Mörtel.

Wird ein hydraulischer Kalk mit Wasser im richtigen Verhältnisse zu Mörtel angemacht, so erfolgt nach längerer oder kürzerer Zeit das Anziehen oder Abbinden desselben, indem er soviel Zusammenhang erlangt, daß er in Wasser gebracht werden kann, ohne darin zu zerfallen; legt man denselben nachher ins Wasser, so nimmt dieses bald eine stark alkalische Beschaffenheit an, wird im Anfühlen schlüpfrig, überzieht sich an der Oberfläche mit einer Haut von kohlensaurem Kalk und bildet einen weißen lockeren Bodensatz, der auch die Mörtelprobe überzieht. Das Wasser enthält Kalk, Alkalien und Kieselsäure in Lösung. Mit der Zeit vergrößert sich auch die Härte des Mörtels und derselbe hat chemisch gebundenes Wasser und auch Kohlensäure in seine Zusammensetzung aufgenommen.

Ueber die Art der Wasseraufnahme beim Erhärten der Cemente stellte G. Feichtinger eine ausführliche Versuchsreihe an[2]). Derselbe trocknete mit Wasser erhärtete bayerische hydraulische Kalke (Romancemente) und Portlandcement in den verschiedensten Stadien des Erhärtungsprocesses zuerst bei 100° im Wasserbade, sodann bei 300° und endlich bei Rothgluth. Nach Bestimmung und Abzug der aufgenommenen Kohlensäure fand derselbe, daß 100 Thle. festen Mörtels von Portlandcement (A) und von vier bayerischen hydraulischen Kalken (I., II., III., IV., Tab. a. f. S.) folgende Mengen Wasser aufgenommen hatten.

Warum Feichtinger die aufgenommene Wassermenge zunächst bei 300° und dann bei Rothglühhitze bestimmte, liegt in der Annahme desselben, daß die in den Cementen enthaltenen Silicate und die durch die Erhärtung gebildeten Kalkverbindungen ihr aufgenommenes Wasser schon unter 300°, das Kalkhydrat aber erst bei Rothgluth abgeben. Dieser Annahme tritt Michaëlis[3]) entgegen, indem er bemerkt: Wenn es auch richtig ist, daß der allergrößte Theil des Wassers bei 300° von dem Silicat, Aluminat, Ferrat ꝛc. abgegeben wird, so stehe es auch fest, daß eine jede der genannten Verbindungen eine gewisse Menge Wasser, sogenanntes Constitutionswasser, enthält, welche erst bei Rothgluth weggeht; daher rühren die Wassermengen, welche man erst beim Glühen austreiben kann, nicht ausschließlich vom Kalkhydrat, sondern zum Theil auch von diesen Verbindungen her. Selbst Thonerde- und Eisenoxydhydrat, für sich in Bezug auf ihre Wasserabgabe bei verschiedenen Temperaturen geprüft, zeigten sich bei 300° als Al_2O_3, H_2O und $2 Fe_2O_3 . H_2O$.

---

1) Dingl. pol. J. 233, 262.
2) Dingl. pol. J. 152, 40 u. f. f.
3) Die hydraulischen Mörtel ꝛc. S. 209.

	A. Portlandcement			I.			II.			III.			IV.		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Gleich nach dem Anmachen mit Wasser	0,99	0,99	—	1,28	1,28	—	0,61	0,61	—	6,79	1,40	5,39	0,58	0,58	—
Nach 4 Stunden	1,41	1,41	—	1,67	1,67	—	0,71	0,71	—	7,80	2,42	5,38	—	—	—
„ 20 „	2,29	1,60	0,69	2,08	2,08	—	1,14	1,14	—	8,26	3,08	5,18	1,63	1,04	0,59
„ 3 Tagen	5,62	3,80	1,82	3,42	3,42	—	1,82	1,82	—	8,87	3,30	5,57	2,23	1,62	0,61
„ 7 „	6,58	4,76	1,82	3,85	3,85	—	2,15	2,15	—	11,20	4,20	7,00	2,36	1,80	0,56
„ 14 „	7,96	5,90	2,06	4,46	4,46	—	2,63	2,63	—	11,80	4,64	7,16	2,88	1,81	1,07
„ 18 „	8,45	6,20	2,25	5,00	4,40	0,60	2,84	2,84	—	11,86	4,60	7,26	—	—	—
„ 21 „	8,91	6,43	2,48	5,84	4,50	1,34	3,46	3,46	—	12,75	5,30	7,45	—	—	—
„ 24 „	10,40	6,60	3,80	5,89	4,42	1,47	4,36	4,36	—	13,68	5,60	8,08	3,21	2,26	0,95
„ 28 „	10,52	6,50	4,02	6,86	4,46	2,40	4,90	4,30	0,60	13,92	5,82	8,10	—	—	—
„ 35 „	11,43	6,63	4,80	7,68	4,52	3,16	5,56	4,25	1,31	14,30	6,18	8,12	3,88	2,81	1,07
„ 42 „	11,35	6,60	4,75	8,30	4,48	3,82	6,20	4,30	1,90	14,68	6,60	8,08	3,98	2,92	1,06
„ 49 „	11,50	6,58	4,92	8,92	4,40	4,52	7,08	4,20	2,88	14,50	6,56	7,94	4,06	2,94	1,12
„ 56 „	11,60	6,64	4,96	9,13	4,46	4,67	7,34	4,25	3,09	14,73	6,60	8,13	4,35	2,93	1,42
„ 80 „	11,56	6,60	4,96	9,50	4,40	5,10	7,40	4,20	3,20	14,65	6,56	8,09	4,84	2,95	1,89

In dieser Tabelle entsprechen die Nummern I. bis IV. den Seite 97 aufgeführten Analysen bayerischer hydraulischer Kalke.

a bedeutet die Gesammtmenge des aufgenommenen Wassers; b die von den Silicaten aufgenommene Wassermenge; c die vom Kalk gebundene Wassermenge.

Aus den Versuchen Feichtinger's geht hervor, daß, mit Ausnahme des hydraulischen Kalkes III., die Menge des aufgenommenen Wassers im Momente der Abbindung, nach dem Erstarren, eine verhältnißmäßig sehr geringe ist und daß die Aufnahme von Wasser sehr gleichmäßig vor sich geht. Der Portlandcement hatte am 35. Tage die ganze Menge Wasser, die er aufnehmen kann, gebunden; bei den hydraulischen Kalken dauerte die Wasseraufnahme längere Zeit fort. Von allen Proben band am schnellsten ab der hydraulische Kalk III., bei welchem sich auch gleich beim Anmachen eine größere Menge Kalkhydrat unter Erwärmung gebildet hatte. Aus diesem Grunde ziehen durchschnittlich die schwach gebrannten Mergel schneller an als stärker gebrannte, wenn auch letztere meistens einen höheren Härtegrad erreichen.

Die Menge des gebundenen Wassers scheint indeß bei ein und demselben Cemente nicht immer die gleiche zu betragen, so fand Winkler dieselbe für 100 Portlandcement bei einer Probe zu 12,1 und bei einer anderen Probe zu 20,3 Proc.

L. Erdmenger ist der Ansicht, daß sich die Gesammtmenge des im erhärteten Portlandcemente (Mischung aus 1 Thle. Cement und 3 Thln. Sand) vorhandenen Wassers in drei Kategorien theilt: 1. in unwesentliches, in seiner Menge wechselndes Porenwasser, was schon an der Luft innerhalb gewisser Temperaturgrenzen verdunstet; 2. in Krystallconstitutionswasser, Nachhärtungswasser, was nach einiger Erhärtungsfrist bereits etwas fester haftet, bei der Erhärtung bereits betheiligt ist; 3. in chemisch fest gebundenes Wasser, Härtungswasser, was am schwersten auszutreiben und von dem er annimmt, daß es an Kalk gebunden sei (Hydratwasser [1]).

Die Nachhärtung denkt sich Erdmenger folgender Art: In dem Inneren des Probekörpers ist die Cementmasse vom Wasser aufgeschlossen und ist während des Liegens im Wasser eine Menge krystallisirbarer Substanz — sei es nun Kalkhydrat oder Anderes — aufgelöst im Porenwasser und verbleibt in diesem aufgelösten Zustande im Inneren der Mörtelmasse mehr oder weniger während der Erhärtung im Wasser. Wird nun die Probe aus dem Wasser herausgenommen, so verdunstet das Porenwasser, die Kalklösung beziehungsweise Cementsubstanzauflösung wird immer concentrirter und scheidet schließlich, wie die Krystalle ja im Allgemeinen aus concentrirten Lösungen erzeugt werden, mehr oder weniger die aufgelöste Masse krystallinisch aus, die dadurch nun auf einmal, statt sonst erst allmälig nach langer Zeit, die ganze Mörtelmasse innerlich verfilzt; hierdurch kommt eine ganz bedeutende Festigkeitssteigerung zum Vorschein. — Werden nun die Proben wieder in Wasser gelegt, so werden diese zuletzt ausgeschiedenen Krystalle, die ja noch nicht, wie wohl jedenfalls die schon vorher auf normale Weise erhärtete Cementsubstanz in un- beziehungsweise schwerlösliche Verbindungen übergegangen sind, wieder aufgelöst und das durch ihre Ausscheidung erfolgte Festigkeitsplus wird wieder aufgehoben. Werden die Proben dagegen nicht wieder

[1]) Thonind.-Ztg. 1878, Nr. 34. Zwick's Jahrbuch der Leistungen der Thonwaaren-, Kalk- und Cementindustrie 1879, S. 208.

in Wasser gelegt, dafür zusammen aber intensiver erhitzt, so wird jener Krystall-masse ebenfalls der Zusammenhalt geraubt; das Krystallwasser wird dadurch aus-getrieben, die Krystalle selbst werden dadurch zerstört und der zurückbleibende feste Rückstand lagert dann jedenfalls als amorphes Pulver in den Poren, nicht wie vorher als Krystall, nicht als die Poren durch sich anpassende Flächenanlagerung hermetisch zuschließender Körper. In beiden Fällen — sowohl beim Einlegen in Wasser als auch beim Erhitzen auf 90 bis ca. 200° — wird daher die Nach-härtung aufgehoben. Mit diesen theoretischen Folgerungen stimmt auch die Er-fahrung überein, daß Portlandcementmörtel, welche nach einer gewissen Erhär-tungsfrist aus dem Wasser genommen und an die Luft gelegt werden, eine er-sehr bedeutende höhere Festigkeit (Nachhärtungsfestigkeit) erlangen.

L. Erdmenger[1]) hat auch darauf hingewiesen, daß zwischen Wasser-quantum und Festigkeitshöhe ein ganz bestimmter regulärer Zusammen-hang stattfindet, nur darf derjenige Wasserantheil nicht mitgerechnet werden, der er als Porenwasser bezeichnet. Die Beziehung fußt lediglich auf der Wasser-menge, die nach längerem Liegenlassen und Abdunsten der Proben an zugfreier Luft noch verbleibt und die sich nach ca. 20 Tagen auch ziemlich constant erhält. Das in Frage kommende Wasserquantum setzt sich also aus den Mengen zusammen, die als chemisch gebundenes und als sogenanntes Nachhärtungswasser bezeichnet werden.

Für die Praxis ist daher als wichtig hervorzuheben, daß der volle Effect beim Erhärten nicht erzielt werden kann, wenn nicht Gelegenheit zu genügender Wasseraufnahme geboten wird. Es gilt dieses, so lange der Erhärtungsproceß noch im Gange ist, nachher haben Schwankungen in der Wassermenge weniger zu sagen. Es muß daher gesorgt werden, daß das Mörtelwasser möglichst lang-sam aus dem Mörtel entweicht, also nicht etwa durch Trockenheit der Zimmer-Zugluft, Wärme ꝛc. in den ersten Wochen der Erhärtung von außen auf das Mörtelwasser eine aufsaugende Wirkung geübt wird. Bei nur geringem Zu-winde oder sonstigen ungünstig liegenden Verhältnissen wird dem Mörtel nicht nur sehr bald das überschüssige Wasser entzogen, sondern er läßt auch leicht einen beträchtlichen Antheil der zur chemischen Reaction nothwendigen Wassermenge fahren, noch ehe diese ihre Aufgabe erfüllt hat; dadurch erleidet die Festigkeit eine ganz erhebliche Einbuße. Die rasche Verdunstung des überschüssigen Mörtel-wassers wird namentlich auch durch lockeres Verarbeiten begünstigt.

Da der Cement fast niemals mit weniger als dem dritten Theile seines Ge-wichtes, meist aber mit noch weit mehr Wasser angemacht wird und da derselbe (Portlandcement) nur 14 bis 16 Proc. Wasser nach vollendeter Erhärtung zurück-hält, so kann man, besonders bei größeren Massen, völlig sicher sein, daß dem-selben gleich von vornherein eine für seine vollkommene Erhärtung hinreichende Wassermenge beigefügt worden ist. Nur unter ganz besonderen Umständen kann der dichten, wenig durchlässigen Mörtelmasse das Wasser so schnell entzogen wer-den, daß die Erhärtung gefährdet werden könnte. Solche Umstände sind z. B. sehr hohe Temperaturen (geheizte Räume), starke und anhaltende Insolation

[1]) Thonind.-Ztg. 1880, S. 6, 115, 126, 240 und 287.

(besonders bei dünnen Putzflächen) und ganz trockene Backsteine. Es ist daher auch für gewöhnlich das ängstliche und übertrieben starke Benetzen von Cementmauerwerk nicht nöthig, es genügt, wenn die Backsteine vor der Verarbeitung gehörig angefeuchtet werden (Michaëlis).

Der Einfluß der Temperatur des Wassers und der Luft auf die Erhärtung des Portlandcementmörtels wurde auf der Generalversammlung des Vereins deutscher Cementfabrikanten 1878 erörtert [1]). Hierbei wurde hervorgehoben, daß der Cement allgemein im Sommer rascher bindet als bei niederer Temperatur, daß er aber im letzteren Falle fester wird; Frost unmittelbar nach der Verarbeitung hindert dagegen die Erhärtung wesentlich. Schumann fand, daß die Festigkeit der Cementproben in Amöneburg von April an allgemein abnahm, während der Junihitze am niedrigsten wurde und nun bis zum Herbste wieder stieg. Weitere Versuche zeigten, daß die Probekörper im Sommer, wenn sie einen Tag an der Luft liegen, stark austrocknen und dadurch an Festigkeit verlieren. Wird dieses Austrocknen durch Bedecken mit einem feuchten Tuche verhütet, so erreicht man bei Sommerhitze dieselbe Festigkeit, als bei kühler Temperatur. Die Temperatur des Wassers, in welchem der Cement erhärtet, hat, zwischen 5 und 22° wenigstens, keinen Einfluß auf die Festigkeit. Hieraus erklärt sich die Nothwendigkeit, frische Cementarbeiten in der ersten Zeit feucht zu halten.

L. Erdmenger's Untersuchungen über den Einfluß, welchen die Temperatur des Wassers, in welchem Portlandcement erhärtet — also nicht des Anmachewassers — auf dessen Festigkeit ausübt, ergaben, daß das Einlegen in sogenanntes lauwarmes Wasser, das Erhärten hierin, den Proben in vielen Fällen eine etwas größere Festigkeit verschafft, als wirklich heißes und kaltes Wasser [2]).

Ueber den Einfluß des heißen Wassers auf den Erhärtungsproceß und auf die erhärtete Cementmasse hat Michaëlis Versuche angestellt [3]), welche ergaben, daß der Portlandcement, mit kochend heißem Wasser angemacht, durchaus nicht schneller erhärtet und daß die mit heißem Wasser angemachte Cementmasse eine weit geringere Festigkeit besitzt. Derselbe erklärt dieses dadurch, daß die Ausdehnung, welche die Wärme hervorbringt, eine Beeinträchtigung der Dichtigkeit zur Folge hat, so daß die mit heißem Wasser angemachte Masse im Momente des Bindens, also der bleibenden Raumerfüllung, poröser ist, als die mit kaltem Wasser bereitete. Andererseits ist es aber sicher, daß niedrige Temperaturen das Abbinden des Cementmörtels verzögern, was ganz im Einklange steht mit der allgemeinen Erfahrung, daß Kälte die chemischen Reactionen herabstimmt.

Heintzel [4]) hat gefunden, daß hartes Wasser das Abbinden des Portlandcementes verlangsamt und dieser eine höhere Festigkeit erhält, als beim Anmachen mit weichem Wasser. Michaëlis [5]) fand gleichfalls, daß härteres Anmachewasser erheblich höhere Festigkeiten geben könne.

---

[1]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrikation von Ziegeln ꝛc. 1878, S. 145.
[2]) Thonind.-Ztg. 1878, Nr. 46.
[3]) Die hydraulischen Mörtel, S. 204.
[4]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrikation von Ziegeln ꝛc. 1878, S. 225.
[5]) Dingl. pol. J. 230, 141.

Was den Einfluß des Frostes auf den Erhärtungsproceß betrifft, so steht fest, daß, so lange als der zu Mörtel angemachte Cement den Erhärtungsproceß nicht soweit durchgemacht hat, daß der größte Theil des Wassers chemisch gebunden ist, der Frost von nachtheiliger Wirkung ist, indem er die Masse lockert und mürbe macht. Dieses zeigt sich nur zu oft bei Ausführungen von Cementverputz im Winter, wo dann nach kurzer Zeit die ganze Arbeit in Stücken abfällt oder zahllose Risse und Sprünge bekommt.

Ebenso sind höhere Temperaturen von Nachtheil für die Erhärtung, welche sich im Allgemeinen bis auf 30 Tage erstreckt, indem dadurch dem Mörtel, besonders bei kleinen Massen, ein großer Theil des zur Vollendung der chemischen Reactionen nothwendigen Wassers entzogen wird; wo höhere Temperaturen nicht zu vermeiden sind, ist es daher nothwendig, die Mörtelmasse von Zeit zu Zeit zu benetzen, um in derselben stets eine genügende Wassermenge zu erhalten.

Die bisherigen Beobachtungen haben ergeben, daß das Abbinden der hydraulischen Mörtel im Meerwasser etwas langsamer von Statten geht als im süßen Wasser. Merkwürdig sind aber auch die theils zerstörenden, theils hindernden Einwirkungen des Meerwassers auf manche hydraulische Mörtel. Ueber die Ursachen derselben scheint man noch nicht vollkommen im Klaren zu sein, aber die Thatsache steht fest, daß es hydraulische Mörtel giebt, welche im süßen Wasser eine große Festigkeit erlangen, im Meerwasser dagegen entweder gar nicht fest werden oder anfangen zu treiben, in Splitter zu zerfallen, mürbe werden und zu Brei vergehen.

Ueber die Einwirkung des Meerwassers auf die hydraulischen Mörtel liegen bis jetzt nur wenige Beobachtungen vor. Vicat[1]) ist der Ansicht, daß durch den Gehalt des Meerwassers an Magnesiumsulfat der größte Theil des freien Kalkes im Mörtel in Gyps übergeführt und dafür Magnesia aus dem Meerwasser abgeschieden wird. Dieses könnte verhindert werden, wenn sich auf der Oberfläche des Mörtels durch den Kohlensäuregehalt des Meerwassers schnell eine Kruste von kohlensaurem Kalke bilde, wodurch das Meerwasser nicht in das Innere der hydraulischen Mörtel eindringen kann.

Malaguti und Durocher[2]) fanden bei Untersuchungen über den Widerstand des hydraulischen Kalkes und der Cemente gegen die Wirkung des Meerwassers, daß diese Einwirkung nicht immer derselben Art ist; das Eintreten von Magnesia an die Stelle von Kalk, welcher aufgelöst wird, findet in sehr verschiedenem Grade statt (manchmal tritt einfach Kalk aus), und Kohlensäure wird zugleich aufgenommen; im Allgemeinen besteht der im Meerwasser veränderte Cement aus einer chemischen Verbindung von Thonerde, Kieselerde und Wasser und einem dem Dolomit ähnlichen kohlensauren Doppelsalz. Sie fanden weiter, daß der dem Meerwasser am besten widerstehende Cement durch relativ großen Gehalt an Eisen charakterisirt sei. Letzteres wird bestritten von Vicat; derselbe fand, daß es der Wirkung des Meerwassers sehr gut widerstehende Cemente giebt, welche wenig Eisenoxyd enthalten und sehr schlecht widerstehende, die reich daran sind.

---

[1]) Compt. rend. 46, 190.
[2]) Compt. rend. 39, 183.

Rivot und Chatonay[1]) schreiben den im Meerwasser enthaltenen Gasen und Salzen die häufige Beschädigung der Meeresbauten zu, namentlich den Einwirkungen der Kohlensäure, des Schwefelwasserstoffes und der Magnesiasalze. Diese Wirkung wird besonders begünstigt durch die Porosität des Mörtels, in Folge dessen das Meerwasser ihn leicht durchdringen kann. Um diesem Uebelstande abzuhelfen, empfehlen sie einen Zusatz von Kalk zum Mörtel; dieser Zusatz muß aber im Verhältniß zum Gehalte an diesen Bestandtheilen des Meerwassers stehen.

Nach Landrin[2]) sind die in den Cementen enthaltenen Kalkaluminate äußerst schädliche Beimengungen für Erhaltung der Mörtel unter Wasser, indem sie sich leicht in Wasser lösen. Derselbe hat daher die Ansicht ausgesprochen, daß die mehr oder weniger energische Widerstandsfähigkeit der Cemente gegen das Meerwasser von der Menge der im Cemente enthaltenen Kalkaluminate abhängt.

Feichtinger hat Versuche angestellt über die Einwirkung verschiedener Salzlösungen im Wasser; er nahm zu den Lösungen immer 1 Thl. trockenen Salzes auf 40 Thle. Wasser und beobachtete, daß namentlich sehr nachtheilig auf die Härte der hydraulischen Mörtel die Chloride des Kaliums, Natriums, Calciums und die Salze der Magnesia, welche durch den Kalk zersetzt werden, einwirken.

Warum das Meerwasser auf hydraulische Mörtel zersetzend und zerstörend einwirkt, dürfte daher nach Allem vorzugsweise in dem Gehalte des Meerwassers an Magnesiumsalzen, Chlormagnesium und Magnesiumsulfat, liegen, welche durch die Kalkerde des Cementes zersetzt werden, wobei sich zwei lösliche Kalksalze, Chlorcalcium und Gyps bilden; je mehr dann Kalk durch diese Einwirkung in Lösung gebracht wird, desto poröser wird der Mörtel und desto leichter kann das Meerwasser auch in das Innere des Mörtels gelangen. Diese Zersetzung kann nur dadurch verhindert werden, daß ein sehr dichter Mörtel verwendet wird und daß noch vor dem Eindringen des Meerwassers durch die Mitwirkung der Kohlensäure eine Decke von kohlensaurem Kalk gebildet wird. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich, die Mörtelmasse, wenn es angeht, einige Zeit lang an der Luft erhärten zu lassen, ehe sie der Einwirkung des Meerwassers preisgegeben wird.

Um den hydraulischen Mörteln größere Widerstandsfähigkeit gegen die Einwirkung des Meerwassers zu ertheilen, ist von Kuhlmann[3]) ein Zusatz von gepulvertem Wasserglas und von Michaëlis ein zwei- bis dreimaliger, in 8 bis 14 Tagen zu wiederholender Anstrich von verdünnter Wasserglaslösung als das einfachste und wirksamste Mittel empfohlen worden; es wird durch diesen Anstrich der Cementmörtel mit einer so vollkommen dichten und festen Oberfläche versehen, daß derselbe dauernd den Einwirkungen des Meerwassers zu widerstehen vermag.

Auch Fr. Schott[4]) fand, daß eine Lösung von Wasserglas eine außerordentlich härtende und dichtende Wirkung auf den Portlandcement hat. Concen-

---

[1]) Dingl. pol. J. **143**, 352.
[2]) Thonind.-Ztg. 1882, S. 177.
[3]) J. prakt. Chem. **81**, 247.
[4]) Dingl. pol. J. **202**, 437.

trirte Lösung ist schwerer anwendbar; mit Wasser angemachter Cement, nach dem Abbinden hineingelegt, überzieht sich mit einer undurchdringlichen, aber äußerst dünnen Kruste. War die Probe vorher getrocknet, so bleibt sie im Inneren sogar gänzlich trocken. Ein Cementguß nach dem Abbinden in sehr verdünnte Lösung von Wasserglas gelegt, härtet sich durch und durch, nur muß man von Zeit zu Zeit der Lösung etwas Wasserglas zugeben, bis die Flüssigkeit auch nach längerem Zusammenstehen mit dem Cemente nicht mehr aufhört, von Chlorammonium gefällt zu werden.

Auch durch unmittelbares Anmachen des Portlandcementes mit verdünnter Wasserglaslösung entstehen sehr harte Proben; sie ziehen rascher an, als mit bloßem Wasser angemachte. Portlandcement in concentrirte syrupdicke Wasserglaslösung eingerührt, erstarrt sogleich. Bedeutende Härte wurde erzielt, als man Cementproben, die mit Wasser abgebunden hatten, etwas abtrocknen ließ, so daß sie noch mäßig feucht waren und dann mit dickem Wasserglase betropfte, so lange sie noch einsaugten.

Schlechte hydraulische Kalke können durch einen Zusatz von trockenem gepulvertem Wasserglas verbessert werden; $^1/_{16}$ Thl. Wasserglas genügt schon (Feichtinger).

Wie bereits bemerkt, findet beim Abbinden und bei der Erhärtung der hydraulischen Mörtel eine Aufnahme von Wasser statt, welches eine chemische Verbindung mit den Bestandtheilen der hydraulischen Mörtel eingeht. Mit dieser Wasseraufnahme ist daher häufig Wärmeentwickelung verbunden und zwar ist dieselbe um so intensiver, je mehr verhältnißmäßig auf einmal vom Wasser gebunden wird. Am meisten ist diese Wärmeentwickelung bemerkbar bei den hydraulischen Kalken im engeren Sinne, welche sich wie Weißkalk ähnlich ablöschen, indem der in ihnen enthaltene Aetzkalk rasch in Kalkhydrat übergeht. Bei Romancementen ist diese Wärmeentwickelung schon viel geringer.

Was den Portlandcement betrifft, so erwärmt sich derselbe im ganz frischen Zustande in den bei Weitem meisten Fällen erheblich beim Anmachen mit Wasser, um 2,5 bis 13° nach Erdmenger, und es nimmt die Temperatursteigerung zu mit der Feinheit des Pulvers. Durch das Lagern, wodurch sich der Portlandcement gleichsam ablöscht, wird die Intensität des Erwärmens gemildert. Bei schnell bindendem Portlandcement ist in Folge des lebhaft verlaufenden chemischen Processes die Erwärmung fühlbarer (im Maximum 12°, meist nur bis 9 oder 10° nach Erdmenger) als bei langsam bindendem, bei welchem oft so gut wie gar keine Temperaturerhöhung wahrgenommen wird. Auch ist von Einfluß die Wassermenge, die man zum Anmachen verwendet; bei mehr Wasserzugabe ist die Erwärmung geringer, bei weniger höher.

Die beim Abbinden eintretenden Temperaturerhöhungen treten beim Portlandcement auch noch deutlicher hervor bei Verwendung großer Mengen von Cement, wie Versuche von Herzog zeigen[1]). Der Portlandcement, dessen Abbindezeit etwa 7 Stunden betrug, wurde hierzu mit so viel Wasser durchgearbeitet, daß er wie frisch gegrabene Erde zusammenballte. Derselbe wurde

[1]) Wagner's Jahresber. d. chem. Technologie 1882, S. 647.

dann in zwei hölzerne Kästen von Würfelform von 10 und 20 cm Seite eingeschlagen und hierbei die Temperaturerhöhung im Inneren der Formstücke von Zeit zu Zeit bestimmt. Es wurden bei dem Würfel von 10 cm Seite etwa 9 kg Cement von 13,5° mit dem benöthigten Wasser von 13,5° angemacht und eingestampft.

Gleich nach dem Einstampfen war die Temperatur des Cementwürfels	16,0°
nach 30 Minuten	17,0
„ 1 Stunde 10 Minuten	17,5
„ 4 Stunden	18,0
„ 5 „	18,5
„ 5 „ 50 Minuten	20,0
„ 6 „	23,5
„ 6 „ 5 Minuten	26,0
„ 6 „ 30 „	27,0
„ 6 „ 45 „	29,0
„ 7 „ war das Maximum erreicht =	29,5

Das Thermometer fing jetzt an zu fallen und zeigte nach 8 Stunden wieder 26,0°.

Bei dem Würfel von 20 cm Seite waren etwa 32 kg Cement von 13,4° mit Wasser von 13,6° zur Verwendung gekommen:

Gleich nach dem Einstampfen betrug die Temperatur	19,0°
Nach Verlauf von 1 Stunde 30 Minuten	20,5
„ 2 Stunden 30 Minuten	22,0
„ 3 „ 30 „	22,5
„ 4 „ 30 „	24,0
„ 5 „	32,0
„ 5 „ 30 Minuten	38,0
„ 6 „ 30 „	43,5
„ 7 „	44,0
„ 7 „ 30 Minuten	44,0
„ 8 „	45,0
„ 8 „ 30 Minuten war das Maximum erreicht =	45,5
„ 9 „ 30 „ war die Temperatur gesunken auf	45,2
„ 11 „ 30 „ „ „ „ „ „	44,0

u. s. f.

Es war demnach bei dem Würfel von 10 cm Seite die Temperatur der Mischung um 16° und bei dem Würfel von 20 cm Seite um 32° beim Abbinden gestiegen, d. h. die Temperatursteigerung in beiden Würfeln verhält sich wie 1 : 2, d. h. wie die Würfelseiten.

Herzog weist noch darauf hin, daß bei vielen Submissionsbedingungen vorgeschrieben wird, daß der Cement beim Abbinden keine größere Temperaturerhöhung zeigen darf als höchstens 3 bis 5°; ist nun die Menge des zu solcher Bestimmung zu verwendenden Cementes nicht genauer angegeben, so können bei

Verwendung großer Mengen die größten Zahlen erhalten und untadelhafte Cemente als unbrauchbar beanstandet werden.

Das Erwärmen des Portlandcementes wird oft etwa vorhandenem freiem Kalk zugeschrieben und demzufolge behauptet, Erwärmen deute Treiben des Cementes an. Nach Erdmenger[1]) ist diese Ansicht nicht richtig, er sagt hierüber: Freier Kalk kann nur in Frage kommen entweder bei zu hohem Kalkgehalt oder in Folge mangelhafter Mischung der Rohmaterialien. Bei normal zusammengesetzten und aus sorgfältigster Mischung hergestellten Cementen ist Kalk im freien Zustande gar nicht oder doch nur in nicht hervortretender schädlicher Menge vorhanden. Es zeigen aber gerade die treibenden Cemente in ganz frischem Zustande meist eine geringere Temperaturerhöhung als nicht treibende. Die Temperaturerhöhung kann also vorwiegend kaum vom Vorhandensein freien Kalkes abhängen, sondern muß noch auf anderen Ursachen beruhen. Es läßt sich mit mehr Grund für das Auftreten des Erwärmens annehmen, daß der Cement äußerst selten durchweg gleich scharf gebrannt, durchgängig von gleichem Korn und gleich schwer in allen Partien der Zerlegung durch Wasser zugänglich sei; es giebt vielleicht immer eine Partie darunter, die loseren chemischen Zusammenhang besitzt, durch Wasserzutritt schneller sich umsetzt und so das Erwärmen herbeiführt.

Die Untersuchungen von Feichtinger haben ergeben, daß die Gesammtmenge des von dem Portlandcemente aufgenommenen Wassers während des Anmachens und in der Zeit des Bindens eine sehr geringe ist; hieraus folgt, daß selbst eine Störung des Bindeprocesses nur einen sehr unwesentlichen Einfluß auf die Erhärtung und das Festwerden des Mörtels ausübt, was bei manchen Anwendungen von großer Wichtigkeit ist.

Feichtinger hat auch Versuche darüber angestellt, ob erhärtete hydraulische Mörtel nach dem Glühen zum zweiten Male mit Wasser erhärten und wie viel Wasser sie dabei aufnehmen. Seine Versuche ergaben, daß dieselbe Wassermenge aufgenommen wird, wie beim ersten Anmachen und daß die hydraulischen Mörtel beim zweiten Anmachen nicht härter wurden, wie gewöhnlicher Luftmörtel. In gleicher Weise fanden auch v. Fuchs, v. Pettenkofer und Heldt, daß hydraulische Mörtel bei der zweiten Wasseraufnahme nicht mehr erhärten.

Dagegen fand Michaëlis, daß dieses für Portlandcement nicht richtig sei. Bei einer ausgedehnten Versuchsreihe beobachtete derselbe, daß Portlandcement, welcher den Erhärtungsproceß vollständig durchgemacht hat, zum anderen Male genau ebenso energisch erhärtet und dieselbe Festigkeit und Widerstandsfähigkeit erlangen kann, welche dem frischen Cemente zukommt. Hierbei bedarf es aber eines weit vorsichtigeren Brennens, um schon erhärteten Cement in den primitiven Zustand zurückzuführen. Von der Temperatur allein hängt es ab, in wie weit der schon einmal erhärtete Portlandcement dem frischen gleichkommt. Die Grenze, bis zu welcher der Cement erhitzt werden darf, wird hier weit leichter überschritten, liegt überhaupt bei einer niedrigeren Temperatur, und dies wird nicht befremden

---

[1]) Dingl. pol. J. 215, 547.

wenn man erwägt, daß die Mischung in diesem Falle eine noch weit innigere ist, daher die Affinitäten auf feurigem Wege sich mit größerer Leichtigkeit geltend machen können. Er geht dabei in die gesinterte Masse über und giebt ein ebenso dichtes, krystallinisches Pulver, wie man es am frischen Portlandcement kennt und schätzt.

Zur Beantwortung der Frage, ob einmal erhärteter Portlandcement durch Brennen wieder belebt werden könne, so daß er aufs Neue erhärtet, hat Fr. Schott nachstehend beschriebene Versuche angestellt[1]).

Ein aus Portlandcement gegossener und nach dem Abbinden unter Wasser völlig erhärteter Kuchen wurde in sechs gleiche Stücke gebrochen, die sechs Stücke in eine Muffel eingesetzt und langsam zu erhitzen begonnen. Nachdem die Muffel ins sichtbare Glühen gekommen, zog man die erste, mit steigender Hitze in regelmäßigen Zeitabschnitten die folgenden Proben und die letzte bei der vollen Rothgluth der Muffel. Die ersten Proben zerrieben und mit Wasser angemacht, zogen gar nicht an; die mittleren, der mäßigen Rothgluth entsprechenden, ebenso rasch und ebenso gut wie frischer Cement, die letzten Proben erhärteten viel langsamer als die mittleren, erreichten aber schließlich dieselbe Festigkeit.

Gunning hat zuerst gezeigt, daß destillirtes kohlensäurefreies Wasser den frischen Portlandcement löst[2]); in gleicher Weise fand auch Michaëlis[3]), daß fein zertheilter Portlandcement durch Wasser zerlegt wird; derselbe behandelte 2,035 g Portlandcement mit ausgekochtem destillirtem Wasser; nach je drei Tagen wurde das Wasser erneuert. Nach 17 Tagen hatten 40 kg Wasser 1,752 g gelöst; der Rest hatte das flockige Ansehen von Kieselsäure-, Thonerde- und Eisenoxydhydrat und war von letzterem bräunlich gefärbt.

Aber nicht nur die frischen Cemente, sondern auch die bereits erhärteten hydraulischen Mörtel sind in Wasser nicht unlöslich. Feichtinger behandelte erhärteten Portlandcement und erhärteten bayerischen hydraulischen Kalk, je 15 g, zwei Monate lang mit destillirtem Wasser = 60 l; dabei fand er, daß sich gelöst hatte von dem

	Portlandcement	hydraulischen Kalke
Kalkerde	1,408 g	0,868 g
Thonerde	0,032 „	0,020 „
Kieselsäure	0,102 „	0,137 „

Es kann hierbei der Einwurf gemacht werden, wie es denn möglich sei, mit hydraulischen Mörteln Bauten unter Wasser aufzuführen und daß dabei dieselben den Einwirkungen des Wassers widerstehen. Die hydraulischen Mörtel werden vor der Zersetzung durch Wasser geschützt durch die Kohlensäure.

Auf die Vortheile, die das Vorhandensein von Kohlensäure im Wasser gewährt, hat schon v. Fuchs[4]) aufmerksam gemacht. Derselbe sagt: da der Kalk sich nie sehr schnell mit dem Cement (ursprünglicher Bedeutung von Cement)

[1]) Dingl. pol. J. 202, 445.
[2]) J. prakt. Chem. 62, 318.
[3]) Daselbst 100, 281.
[4]) Dingl. pol. J. 49, 271 u. s. f.

vereinigt, so findet er auch leicht Gelegenheit, Kohlensäure anzuziehen; es gesellt sich somit zum Silicat noch Calciumcarbonat, welches letztere oft ziemlich tief in das Innere der Masse eindringt, besonders wenn sie nur langsam anzieht. Das Aeußere bekommt dadurch in kürzerer Zeit eine größere Consistenz als das Innere, was den Vortheil gewährt, daß das Wasser nicht mehr störend auf das Innere wirkt und Kalk und Cement dort ihre gegenseitige Einwirkung ruhig fortsetzen können.

Zu dieser Bildung von Calciumcarbonat kann sich nun noch die Abscheidung von Kieselsäure aus dem kieselsauren Alkali durch die Kohlensäure gesellen und diese beiden verkitten die Masse alsdann so fest, daß selbst das Eindringen der Kohlensäure wie auch des Wassers aufgehoben wird. Den Portlandcement schützt auch seine physikalische Beschaffenheit, seine Dichtigkeit, vor der Zersetzung durch Wasser; in Folge seines hohen specifischen Gewichtes und seiner eigenthümlichen krystallinischen Beschaffenheit setzt sich das mit Wasser angemachte Cementpulver zu einer sehr festen und dichten Masse ab (Michaëlis).

Jedes Wasser enthält Kohlensäure, in Folge dessen sich im erhärteten Cement, namentlich auf der Oberfläche, Calciumcarbonat bildet; wir finden daher, daß die erhärteten Wassermörtel mehr Calciumcarbonat enthalten als die frisch angemachten, und daß daher beim Beträufeln der Oberfläche eines erhärteten Cementstückes mit Salzsäure ein bedeutendes Aufbrausen sichtbar ist.

Durch die Bildung von Calciumcarbonat an der Oberfläche, wodurch die Poren verschlossen werden, wird daher bei reinem, namentlich Portlandcement, das Vordringen der Kohlensäure sehr erschwert.

Bei einem 40 mm starken Guß von reinem Portlandcement betrug nach 20 Monaten in der äußersten Schichte die Kohlensäuremenge 29 bis 31 Proc., und in einer Tiefe von 9 mm nur 0,9 Proc. Dagegen geht die Absorption viel tiefer bei mit Sand gemischtem Portlandcement, wo eine größere Lockerheit des Gefüges vorhanden ist (Erdmenger[1]).

Auch Michaëlis fand bei jahrealten erhärteten Blöcken von Portlandcement, daß bei guten, stark erhärtenden Cementen die Kohlensäure immer nur wenige Millimeter tief eingedrungen war. Man sieht dann meist deutlich eine schmale Zone von dunklerer Färbung (oft bräunlich) den Kern umschließen; sie zeigt, bis zu welcher Tiefe die Kohlensäure gelangen konnte; die darunter liegenden Partien erweisen sich als frei von Kohlensäure.

Bekanntlich geht die Erhärtung des Portlandcementes an der Luft entschieden rascher von Statten als im Wasser, d. h. die Masse wird an der Luft schneller fest als im Wasser. Der Grund davon ist der, daß die Cementmasse, wie eben bereits angegeben, vom Wasser zunächst nicht unbeträchtlich angegriffen wird, wofür die zerreibliche Oberfläche der eingetauchten Stücke spricht, vor Allem aber die Kalkhaut, mit welcher sich das Wasser bedeckt und der flockige Niederschlag, welcher sich im Wasser absetzt. Bei der Erhärtung an der Luft wird nichts aufgelöst und extrahirt und dann bietet die Atmosphäre in der Regel eine bei Weitem größere Menge Kohlensäure dar, wodurch die Bildung von kohlen-

---

[1]) Thonind.-Ztg. 1880, Nr. 13.

saurem Kalk an der Oberfläche beschleunigt wird. Man kann sich aber leicht davon überzeugen, daß die inneren, vor der Einwirkung des Wassers und der Kohlensäure geschützten Partien in Luft und Wasser gleich stark erhärten. Man hat zu dem Zwecke nur nöthig, correspondirende Versuche mit Luft- und Wasserproben anzustellen; nach welcher Frist man auch ihr Inneres auf den Härtegrad prüfen mag, man wird keinen Unterschied wahrnehmen können (Michaëlis).

Die Kohlensäure kann aber auch unter gewissen Verhältnissen die Zersetzung eines hydraulischen Mörtels bewirken. v. Fuchs sagt schon hierüber: Uebrigens kann die Kohlensäure auch zersetzend auf den hydraulischen Mörtel einwirken und das vorzüglich dann, wenn ein sehr lockeres Cement (ursprünglicher Bedeutung) dazu genommen worden ist, womit sich selten ein sehr cohärentes Product bildet; wie es z. B. der Fall ist, wenn man feine und lockere chemisch präparirte Kieselsäure als Cement verwendet. Die Kohlensäure, welche in die lockere poröse Masse überall eindringen kann, bemächtigt sich allmälig des Kalkes und die Kieselsäure wird ausgeschieden und somit der Zusammenhang ganz aufgehoben.

Wir haben bereits bei der Santorinerde hervorgehoben, daß der mit Kalk angemachte Santorinmörtel nur so lange seine im Wasser erlangte Härte beibehält, als er im Wasser gelassen wird, und dieselbe verliert, wenn man ihn dann der Luft aussetzt. Die Santorinerde wirkt als Cement durch ihren Gehalt an freier amorpher Kieselsäure, welche sich unter Mitwirkung von Wasser mit dem Kalke zu kieselsaurem Kalk verbindet. Diese Verbindung wird aber an der Luft durch die Einwirkung der Kohlensäure zerlegt, es bildet sich kohlensaurer Kalk unter Abscheidung von Kieselsäure und der Mörtel verliert in Folge dessen seinen Zusammenhang.

Fr. Schott hat nachgewiesen, daß die hervorragend hydraulischen Eigenschaften des Portlandcementes keineswegs von der Integrität seines chemischen Bestandes bedingt sind; es können im Gegentheil bedeutende Aenderungen und Verrückungen dieses Bestandes vorgenommen werden, ohne daß diese Eigenschaft verloren geht, — ja sie kann dadurch noch um ein Bedeutendes gesteigert werden, wie nachstehende Beobachtungen beweisen [1]).

Portlandcement mit kalt gesättigter Lösung von krystallisirter Soda zu Brei angerührt, erhärtet so rasch, daß man die Masse eben noch ausgießen kann. Proben mit verdünnter Lösung, nämlich:

37 g Cement mit 5 ccm kaltgesättigter Sodalösung und 10 ccm Wasser; ferner:

80 g Cement mit 5 ccm derselben Lösung und 10 ccm Wasser erhärteten langsam aber vollständig, als sie nach dem Anziehen längere Zeit in Wasser gelegt wurden. Diese Proben oder solche mit bloßem Wasser angemacht, nach dem Anziehen längere Zeit in Sodalösung gelegt, nehmen den äußersten Grad von Härte an; wenn kein Ueberschuß angewendet wird, so braust die Sodalösung nach einiger Zeit nicht mehr auf und wird völlig ätzend. Wie kohlensaures Natron, wirkt auch kohlensaures Kali.

---

1) Dingl. pol. J. 202, 437.

Mit kalt gesättigter Salmiaklösung angemachter Portlandcement zog gut an und erhärtete an der Luft in einigen Tagen beträchtlich; eine Woche lang in Wasser gelegt, war die Probe beim Ritzen mit der Klinge schreihart. Mit einer Lösung von oxalsaurem Ammonium angerührter Cement band ab wie gewöhnlich; nach dem Abbinden in eben solche Lösung eingelegt, nahm er nach einiger Zeit die äußerste Härte an, während die Lösung vollkommen klar blieb.

Eine sehr kräftige und fördernde Einwirkung auf die Erhärtung des Portlandcementes hat Ammoniumcarbonat. Lösungen dieses Salzes beschleunigen das Abbinden des damit angemachten Cementes und machen die Proben um so härter, je concentrirter sie sind. Bei concentrirten Lösungen erwärmt sich die Probe im Verhältniß ihrer Stärke. Namentlich durch längeres Einlegen der abgebundenen Proben in die Lösung von Ammoniumcarbonat erfolgt bedeutende Härte, so daß die Proben beim Ritzen schreien. Sie sehen dabei schön schlicht und glatt aus, überziehen sich nicht mit schleimigen Ausscheidungen, wie die in bloßem Wasser erhärtenden Proben zu thun pflegen; ebenso bleibt die Lösung während des Erhärtens klar und frei von Ausscheidungen, nimmt aber starken Geruch nach Aetzammoniak an. Durch die Behandlung mit Ammoniumcarbonat wurden $^{3}/_{4}$ des Kalkes in Carbonat umgewandelt.

Daß die Kohlensäure des Ammoniumsalzes tief in den chemischen Bestand des Portlandcementes eingreift, hat Schott nachgewiesen durch Vergleichung des Gehaltes an löslicher Kieselerde in dem mit und ohne Ammoniumcarbonat erhärteten Portlandcemente. Es gab an siedende Kalilauge ab der Portlandcement

	lösliche Kieselsäure
a) unverändert	0,214 Proc.
b) mit Wasser erhärtet, 6 Monate bei Luftabschluß unter Wasser gelegt	0,883 „
c) mit Ammoniumcarbonat behandelt	9,18 „

also bei c) über zehnmal mehr als beim Erhärten mit Wasser.

Betrachtet man unter dem Mikroskope Dünnschliffe von erhärtetem Portlandcement, so unterscheidet man dreierlei Bestandtheile. Ein opaliges, milchfarbiges Maschwerk, das man deutlich als aufgequollene, gallertartige, beziehungsweise opalige Substanz erkennt. Diese Masse bildet ein vollständiges Zellensystem. Die Maschen, beziehungsweise Löcher sind theilweise noch leer, die meisten jedoch mit spiegelglänzendem Kalkhydrat übersponnen. Diese hellen Flächen sind zuweilen ganz eben, zuweilen scheinen sie wie aus lauter dicht neben einander laufenden feinen Nadeln gebildet. An manchen Löchern tritt diese weiße glasige Masse wie zusammengerollte Glasfäden aus den Rändern hervor. Dieses Ausquellen aus allen Löchern der Porenränder in Form solcher noch eingerollter Glasfäden bildet jedenfalls den Anfang des späteren gänzlichen Ueberspinnens der Poren mit glasiger Masse. Geben diese beiden Bestandtheile, die milchopalige, an Masse weit überwiegende Colloidsubstanz und die wasserhelle, die Poren ausfüllende dem Schliff unter dem Mikroskope ein weißes zartes Ansehen, so erhält derselbe noch eine bunte Zuthat durch eine Anzahl eingesprengter kleiner Pünktchen, die sich bei näherer Untersuchung als die noch durch Wasser unzerlegten

Grieskörnchen erweisen. Dieselben haben bei dem durchscheinenden Lichte meist eine schmutzige, beziehungsweise unklare Topasfarbe; doch giebt es auch olivengrünliche und ganz schwarze Stückchen darin. Es tritt also in der Hauptmasse der Schliffe die Färbung bei starker Vergrößerung sehr zurück (Erdmenger[1]).

Le Chatellier[2]) hat in Betreff der successiven Erscheinungen beim Erhärten der Portlandcemente unterm Mikroskop im polarisirten Lichte Folgendes constatirt: Die Einwirkung des Wassers erzeugt mehrere Verbindungen. Diejenige, welche bei der Erhärtung die Hauptrolle spielt, krystallisirt in sechseckigen Tafeln, welche dem Kalkhydrat entsprechen. Es bilden sich auch noch lange Nadeln, welche sich nach allen Richtungen in einander verfilzen, und deren Verhältniß in der Masse bei rasch bindenden Cementen beträchtlich steigt; diese entstehen aus der Einwirkung des Wassers auf das dreibasische Aluminat. Ferner hat derselbe noch die Bildung anderer Substanzen beim Erhärten des Cementes erkannt, welche nicht auf das polarisirte Licht einwirken, dieselben konnten aber bis jetzt nicht näher bestimmt werden.

Die bei der Erhärtung der Wassermörtel stattfindenden chemischen Processe sind bis jetzt sehr verschieden erklärt worden. Bevor wir auf dieselben näher eingehen, wird es nothwendig sein, zuerst das Verhalten der einzelnen Bestandtheile der Wassermörtel in Bezug auf ihre hydraulischen Eigenschaften für sich ins Auge zu fassen. Da die Kieselsäure und der Kalk die beiden Hauptbestandtheile der hydraulischen Mörtel sind, so ist es wohl vor Allem sehr wichtig, das gegenseitige Verhalten dieser beiden Körper kennen zu lernen.

Die Kieselsäure kommt im Mineralreiche theils frei, theils verbunden mit Basen zu kieselsauren Salzen (Silicaten) vor. Die freie Kieselsäure des Mineralreiches ist entweder krystallisirt oder krystallinisch, oder aber sie ist amorph; im ersten Falle ist sie wasserfrei und hat als Quarz das specif. Gew. von 2,6 bis 2,66, als Tridymit ein solches von 2,3; im amorphen Zustande (Opal rc.) ist sie wasserhaltig und hat das specif. Gew. 2,1 bis 2,2. Quarzige und opalartige Kieselsäure gemengt sind enthalten im Feuerstein, Chalcedon, Achat rc.

Die Kieselsäure ist in der heftigsten Hitze unserer Oefen unschmelzbar, dagegen schmilzt sie in der mit Sauerstoffgas angeblasenen Weingeistflamme oder Leuchtgasflamme zu einem farblosen Glase. Dieselbe kann aber sowohl im krystallisirten als amorphen Zustande bei beträchtlich niedrigeren Hitzegraden mit Basen zusammengeschmolzen werden; besonders geeignet hierzu sind die Alkalien, wobei kieselsaures Alkali (Alkalisilicat) entsteht, welches in Wasser löslich ist (Wasserglas). Aber auch die alkalischen Erden und von diesen vorzugsweise der Kalk geben, bei hinreichend hoher Temperatur, mit der Kieselsäure Silicate. Dadurch wird die Kieselsäure, auch die quarzige, in die lösliche Modification über-

---

1) Thonind.-Ztg. 1880, Beilage 40.

2) Thonind.-Ztg. 1882, S. 203.

geführt; denn während sie als quarzige und opalartige Kieselsäure in Wasser wie in Säuren, mit einziger Ausnahme der Fluorwasserstoffsäure, ganz unlöslich ist, löst sich dieselbe, wenn sie aus ihren Verbindungen mit Basen ausgeschieden wird, selbst in Wasser und in Säuren auf.

So einander gleich sich die krystallisirte und die amorphe Kieselsäure beim Schmelzen mit Alkalien verhalten, so verschieden ist ihr Verhalten beim Kochen mit Alkalilaugen und Lösungen von kohlensauren Alkalien. Die amorphe Kieselsäure löst sich in Alkalilaugen und in Lösungen von kohlensaurem Alkali beim Kochen, die krystallisirte wird dabei nicht im Mindesten angegriffen. Es war v. Fuchs, welcher zuerst diese Beobachtung machte; dadurch ist es auch möglich, die krystallisirte von der amorphen Kieselsäure zu trennen.

Daß die Kieselsäure mit Kalk im Feuer eine chemische Verbindung eingeht, ist schon von Seffström[1]) nachgewiesen worden; derselbe fand, daß 1 Aequivalent Marmor mit 3 Aequivalenten Kieselsäure (Quarz) im Gebläseofen zu einer homogenen, blasigen, perlgrauen Masse zusammenschmilzt.

Das Verhalten der Kieselsäure zu Kalk auf nassem Wege ist zuerst von v. Fuchs eingehend geprüft worden[2]). Derselbe fand bei seinen Versuchen, daß die amorphe Kieselsäure, wie sie bei der Zersetzung von Silicaten durch Salzsäure oder durch Präcipitation mittelst Salmiak aus einer Wasserglaslösung nach gehörigem Aussüßen und Trocknen in Form eines höchst feinen, in ätzenden und kohlensauren Alkalien löslichen Pulvers erhalten wird, mit ihrem halben Gewichte Kalkhydrat gemengt unter Wasser binnen 4 bis 5 Wochen zu einer festen Masse erhärtet, während Quarz oder Bergkrystall, überhaupt krystallinische Kieselsäure, welche in ätzenden und kohlensauren Alkalien unlöslich ist, mit Kalkhydrat unter Wasser auch nach viel längerer Zeit nicht den mindesten Zusammenhang gewinnt.

Mit Salzsäure behandelt bildet das Product aus amorpher Kieselerde und Kalk nach dem Erhärten eine Gallerte, während das Gemenge aus krystallinischer Kieselsäure mit Kalkhydrat beim Behandeln mit Salzsäure das angewandte Quarzpulver u. s. w. im Rückstande unverändert erkennen läßt.

Auffallend verschieden von dem Quarz verhält sich der in der Natur vorkommende Opal, welcher wesentlich amorphe Kieselsäure mit etwas Wasser ist; er zieht zwar langsamer mit Kalk unter Wasser an als präcipitirte Kieselsäure, giebt aber zuletzt, vermöge seiner größeren Dichtigkeit oder Cohärenz, ein merklich consistenteres Product, welches ebenfalls die Eigenschaft hat, mit Salzsäure zu gelatiniren. Deshalb geben auch Gemenge von krystallinischer und amorpher Kieselsäure, wie z. B. der Feuerstein, Cemente.

Da der Quarz bloß seines krystallinischen Zustandes halber oder, richtiger ausgedrückt, wegen seiner Unfähigkeit, sich in diesem Zustande mit Alkalien auf nassem Wege zu verbinden, kein Cement ist, so kann man ihn dadurch zu einem Cemente machen, daß man ihn zuerst mit etwas Kalk gemischt im Feuer erhitzt (aufschließt), wodurch in Folge der Bildung eines Kalksilicates mit überschüssiger

---

1) Journ. prakt. Chem. 10, 145.

2) Dingl. pol. J. 49, 271. Erdmann's Journ. f. technische u. ökonomische Chemie 6, 1 u. s. f.

Kieselsäure, letztere amorph und auf nassem Wege mit Basen verbindbar wird, und erst dann im Wasser mit Kalkhydrat behandelt. Auf diese Weise erhielt v. Fuchs auch wirklich eines der besten Producte; er hat 3 Thle. fein pulverisirten Quarz und 1 Thl. Kalk gemengt und vor dem Gebläse einer so starken Hitze ausgesetzt, daß die Theile anfingen zusammenzusintern und sich zu verglasen. Diese Masse wurde wieder sehr fein zerrieben, mit Kalk im Verhältnisse von 6 : 1 gemengt und unter Wasser gebracht. Obwohl diese Masse anfangs nur langsam anzog, so war sie doch nach Verlauf von fünf Monaten so hart geworden, daß sie beinahe dem Marmor gleichkam. Man könnte vielleicht dem Quarz etwas mehr Kalk zusetzen, allein man muß sich doch sehr in Acht nehmen, daß ein gewisses Maß nicht überschritten wird, weil die Kieselerde, wenn sie vor der nassen Cementation zu viel Kalk aufgenommen hat, dann mit diesem in Wasser nicht mehr gut bindet. Hierfür spricht sehr augenfällig das Verhalten des Wollastonits, CaO, SiO_2. Dieses Silicat, dessen Kieselerde schon voraus so aufgeschlossen ist, daß es mit Säuren eine Gallerte bildet, bindet mit Kalk auf nassem Wege gar nicht. Wird es geschmolzen, wodurch die Eigenschaft zu gelatiniren bei demselben noch mehr erhöht wird, so verhält es sich merklich besser, liefert aber doch kein sehr gutes Product. Die Kieselerde scheint demnach auf nassem Wege nicht gern mehr Kalk aufnehmen zu wollen, als im Wollastonit damit verbunden ist.

v. Pettenkofer[1]), Heldt[2]), Michaëlis[3]), Schulatschenko[4]) und Feichtinger[5]), welche Versuche nach derselben Richtung hin anstellten, fanden gleichfalls, daß aus Kalk und amorpher Kieselerde unter Wasser erhärtende Verbindungen sich erzeugen lassen.

Von welcher Zusammensetzung die auf nassem Wege entstehenden Kalksilicate sind, konnte noch nicht festgestellt werden, da es bisher nicht gelungen ist, die gebildeten Kalksilicate von dem kohlensauren Kalk und Kalkhydrat zu isoliren.

Von Saint-Claire Deville[6]), Gunning[7]) und Winkler[8]) wurden allerdings Lösungen von Ammoniumnitrat in Wasser oder Weingeist angewendet, um den freien und kohlensauren Kalk zu lösen und das Kalksilicat zu isoliren, aber Feichtinger hat nachgewiesen, daß selbst eine weingeistige Lösung dieses Salzes die unter Mitwirkung von Wasser gebildeten Kalksilicate vollständig zersetzt.

Heldt ist der Ansicht, daß sich ein Kalkhydrosilicat von der Formel $5CaO.3SiO_2 + 5H_2O$ bildet; Michaëlis nimmt dagegen die Bildung der einfacheren Verbindung $2CaO.SiO_2 + 2H_2O$ an, ohne einen factischen Be-

---

[1]) Dingl. pol. J. 113, 368.
[2]) Journ. pr. Chem. 94, 129.
[3]) Ebend. 100, 266.
[4]) Dingl. pol. J. 194, 355.
[5]) Ebend. 152, 40.
[6]) Journ. pr. Chem. 62, 81.
[7]) Ebend. 62, 318.
[8]) Ebend. 67, 444.

weis für die Existenz dieses Silicates beizubringen. Nach E. Landrin[1]) entspricht das gebildete Kalksilicat der Formel $4CaO.3SiO_2$.

v. Fuchs fand auch, daß die künstlich auf nassem Wege erzeugten Kalksilicate der Einwirkung der Kohlensäure um so besser widerstehen, je dichter die verwendete Kieselsäure ist. Eine bereits unter Wasser erhärtete Probe, welche aus chemisch präparirter Kieselerde und Kalk dargestellt worden war, blieb später längere Zeit zur Hälfte mit der atmosphärischen Luft in Berührung, während die andere Hälfte noch im Wasser lag. Die Kohlensäure der Luft zersetzte den gebildeten kieselsauren Kalk nach einem halben Jahre in der Art, daß kohlensaurer Kalk und Kieselerde entstand, und das Ganze mürbe wie schlechter Luftmörtel wurde. Proben, welche mit einer Kieselerde (Opal, Feuerstein) dargestellt waren, die mehr Cohärenz als die immerhin sehr lockere, chemisch präparirte hatte, leisteten unter den nämlichen Umständen der Kohlensäure der Atmosphäre vollkommen Widerstand. Diese Beobachtungen von v. Fuchs wurden auch von Anderen bestätigt gefunden.

Nach v. Fuchs können die Stelle der Kieselsäure verschiedene kieselsaure Salze (Silicate), namentlich alle sogenannten Thone vertreten; die Thone verhalten sich ebenso wie die Kieselerde; sie erhärten erst in mit Kalk gebranntem Zustande, wo sie aufgeschlossen und dem Kalke zugänglich werden; beim Brennen wird der Kalk zuerst kaustisch, ein Theil des kaustischen Kalks dient zur Aufschließung des Thons; beim Zusammenbringen mit Wasser verwandelt sich der frei gebliebene Aetzkalk in Hydrat und wirkt in diesem Zustande auf das im Feuer gebildete Silicat ein und es entstehen auf diese Weise unter chemischer Bildung von Wasser neue Silicate.

Im Gegensatze hierzu hält Heldt es für wahrscheinlicher, daß nur der Gehalt an Alkali und freier Kieselerde die Ursache sein könne, wenn die Thonarten auf nassem Wege mit Kalk erhärten, indem das Alkali etwas von der überschüssigen Kieselerde, die leicht mit Kali fortgenommen werden kann, in den Zustand versetzt, in welchem sie mit Kalk auf nassem Wege sich verbinden kann; man dürfe aber nicht glauben, daß die kieselsaure Thonerde durch den Kalkbrei selbst zersetzt werde. Vulcanische Gebirgsarten, welche Alkali enthalten, wie z. B. Klingstein, dann der Traß und die Puzzolanerde, welche ein reich mit Alkali beladenes Thonerdesilicat enthalten, erhärten deswegen sehr gut auf nassem Wege mit Kalk. Thonarten, welche dagegen frei von Alkali waren, konnte Heldt nach dem Glühen mit Kalkbrei nicht zur Erhärtung bringen. Wenn daher v. Fuchs bei seinen Versuchen gefunden habe, daß die Porzellanerde von Passau und gebrannter Ziegelthon und Töpferthon mit Kalk auf nassem Wege erhärtete Producte geben, so rühre dieses von einem Gehalte dieser Materialien an Alkalien her.

Wenn nun allerdings auch sehr gut die meisten Hohofenschlacken auf nassem Wege mit Kalk erhärten, obwohl diese keine Spur von Alkali enthalten, so ist hier nach Heldt der Vorgang ein anderer; die Schlacken enthalten kieselsaure Thonerde und kieselsauren Kalk; hier braucht also nur das Kalksilicat in dem Zustande zu sein, sich mit Kalk sättigen zu können. Da die Verwandtschaft der

---

[1]) Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1883, S. 648.

Thonerde zur Kieselerde eine bedeutende ist, so kann diese nicht auf nassem Wege durch Kalk überwunden werden. In der Glühhitze ändern sich aber die Verhältnisse, die kieselsaure Thonerde wird durch Glühen mit Kalk zerlegt, aber nicht, weil die Kalkerde etwa eine größere Verwandtschaft zur Kieselerde hat als die Thonerde, sondern weil die Thonerde in der Glühhitze eine größere Verwandtschaft zum Kalk besitzt und sich mit demselben zu thonsaurem Kalk vereinigt.

Versuche, auf nassem Wege Verbindungen zwischen Thonerde und Kieselerde künstlich zu erzeugen, führten bisher zu keinem Resultate.

v. Fuchs hat auch über das Verhalten der reinen Thonerde zu Kalk auf nassem Wege Versuche angestellt; er sagt hierüber: „Die reine Thonerde geht mit den feuerbeständigen Alkalien auf nassem Wege Verbindungen ein, was allerdings zu dem Schlusse berechtigen kann, daß sie sich auf ähnliche Weise zum Kalke verhalten müsse. Allein ich habe es bis jetzt noch nicht so gefunden; wenigstens läßt sich nach meinen bisherigen Erfahrungen mit dieser Erde und dem Kalke kein in Wasser erhärtendes Product darstellen“ [1]).

Dagegen lassen sich Verbindungen von Thonerde und Kalk in der Glühhitze herstellen. Schon Sefström [2]) hat die Verbindungen $Al_2O_3 . 3CaO$; $2Al_2O_3 . 3CaO$; $Al_2O_3 . CaO$ als geschmolzene Massen im Essenfeuer dargestellt.

Später zeigte dann Aug. Winkler [3]), daß durch Glühen von Kalk und Thonerde hydraulische Massen erzeugt werden können. 11 Aequivalente Kalk, 1 Aequivalent Kali und 4 Aequivalente Thonerde wurden innig gemengt und in einem hessischen Tiegel fest eingestampft 3 Stunden lang bei Weißglühhitze gebrannt. Das erhaltene Product war schwach zusammengesintert; als Pulver mit Wasser zusammengebracht, erhitzte es sich stark, erhärtete dabei rasch, zerfiel aber nach einiger Zeit. Während des Erhärtens wurde das Kali an das Wasser abgegeben, das Kali hatte auch etwas Thonerde gelöst.

8 Aequivalente Kalk, 1 Aequivalent Kali und 4 Aequivalente Thonerde, auf dieselbe Weise behandelt, gaben eine stärker zusammengesinterte Masse, deren Pulver unter Wasser stark und dauernd erhärtete, wobei jenes sich nur schwach erwärmte. Da das austretende Kali wieder etwas Thonerde in Lösung hatte, so wurde ein anderer Theil des Pulvers, anstatt mit reinem Wasser, mit einer Lösung von Chlorcalcium angemacht, wodurch eine sehr harte, vollständig hornartige Masse erhalten wurde, die sich in kohlensäurefreiem Wasser nicht veränderte, an der Luft aber mürbe wurde und in kohlensauren Kalk und Thonerdehydrat zerfiel.

Aus diesen Versuchen zog Winkler den Schluß, daß die Kieselerde in den Cementen durch Thonerde vertreten werden kann; die Thonerde vermindert hierbei den Grad des Erhärtens nicht, macht aber den Cement weniger geeignet, den Einwirkungen der Kohlensäure zu widerstehen.

Heldt [4]), welcher bei seinen Versuchen keine so hohe Temperaturen wie Winkler anwandte, fand, daß sich mit Leichtigkeit Aluminate des Kalkes herstellen lassen, daß dieselben aber unter Wasser nicht erhärten.

---

[1]) Dingl. pol. J. 49, 281.
[2]) Journ. f. techn. ökonom. Chem. 10, 174.
[3]) Journ. prakt. Chem. 67, 454.
[4]) Ebend. 94, 147.

Von Fremy[1]) wurden die Eigenschaften der Kalkaluminate gleichfalls einer sorgfältigen Untersuchung unterzogen; derselbe stellte diese Verbindungen dar, indem er in wandelbaren Verhältnissen zusammengesetzte Gemenge von Kalk (aus Doppelspath durch Glühen erhalten) und Thonerde (durch Glühen von Ammoniakalaun bereitet) bei verschiedenen Temperaturen glühte. Er fand zunächst, daß Thonerde einen vortrefflichen Fluß für den Kalk bildet und auf diese Basis noch energischer wirkt, als selbst Kieselsäure.

Vollkommen geschmolzene (verglaste) Kalkaluminate erhielt er im Windofen mit Gemengen von 80 Thln. Kalk und 20 Thln. Thonerde, sowie von 90 Thln. Kalk und 10 Thln. Thonerde. Das Gemenge von

93 Thln. Kalk und
7 „ Thonerde

war sogar gefrittet und kam beinahe in Fluß.

Diese so kalkreichen Kalkaluminate sind krystallisirt; auf dem Bruche erscheinen sie zuckerkörnig, zeigen stark alkalische Reaktion und verbinden sich mit Wasser unter Wärmeentwickelung. Beim Erhärten der hydraulischen Cemente können diese stark basischen Aluminate, welche im Wasser ebenso wachsen (d. h. eine Volumvermehrung erleiden) wie gebrannter Kalk, aber keine Rolle spielen. Anders aber verhält sich dies mit weniger basischen, den Formeln

$$CaO . Al_2O_3;\ 2CaO . Al_2O_3;\ 3CaO . Al_2O_3$$

entsprechend zusammengesetzten Aluminaten. Rührt man letztere als feines Pulver mit einer geringen Menge Wasser an, so werden sie fast augenblicklich starr und bilden Hydrate, die in Wasser eine bedeutende Härte annehmen.

Die mit Wasser erhärtenden Kalkaluminate besitzen die Eigenschaft, mit verschiedenen, gegen sie indifferent sich verhaltenden Substanzen, z. B. Quarz, sich zu einer festen Masse zu verbinden. Fremy mengte das Aluminat $2CaO . Al_2O_3$ mit 50, 60, 80 Proc. Sand und erhielt dadurch Pulver, welche in Wasser so hart und fest wurden, wie die besten Steine.

Fremy macht auch darauf aufmerksam, daß die Kalkaluminate, welche in Folge ihrer chemischen Zusammensetzung die Eigenschaft besitzen, in Wasser zu erhärten, einer sehr starken Hitze ausgesetzt werden müssen, wenn sie diese Eigenschaft in höherem Grade erlangen sollen. Die im Windofen recht scharf geglühte und in Fluß gerathene Probe zeigte weit stärkere hydraulische Eigenschaften, als die nicht so stark gebrannte. Daher wird bei der Fabrikation von Portlandcement durch das Brennen bezweckt, eine Reaction des Kalkes auf die Thonerde bei hoher Temperatur zu bewirken und das Kalkaluminat zum Schmelzen zu bringen, welches dann das Maximum seiner hydraulischen Eigenschaften besitzt.

Michaëlis[2]), welcher gleichfalls das Verhalten des Kalks zur Thonerde studirte, erhitzte eine Mischung von Kalk und Thonerde in dem Verhältnisse von $2Al_2O_3 . 3CaO$ in der mit Sauerstoff angefachten Leuchtgasflamme; er erhielt eine vollkommen geschmolzene, weiße, ein wenig ins Gelbe ziehende

---

[1]) Dingl. pol. J. 177, 379.
[2]) Michaëlis, Die hydraulischen Mörtel rc. 1869, S. 37.

äußerst harte Masse. Gepulvert und mit Wasser zu einem Teige angemacht, erwärmte sich dieselbe nicht und erhärtete innerhalb zweier Tage so vorzüglich, wie es selbst die allerbesten Cemente in dieser Zeit nicht thun. Die erhärtete Masse war so dicht und fest, daß sie sowohl der Kohlensäure der Luft durchaus widerstand als auch vom Wasser so gut wie ganz und gar nicht angegriffen wurde.

Eine Mischung von Kalk und Thonerde im Verhältniß von Al_2O_3, $3CaO$ in derselben Weise geschmolzen, gab ein Pulver, das sich mit Wasser stark erwärmte und sofort zu einer festen Masse gestand. Es gelang deshalb nicht, die Pulvertheilchen durch Aufstoßen des Gefäßes zu einer möglichst dichten Aneinanderlagerung zu bringen, wie dies bei langsam erhärtenden Massen sehr leicht geschehen kann. Dennoch erlangte diese ungleich lockere Masse eine ziemlich beträchtliche Festigkeit. Vor Kohlensäure geschützt, wurde dieselbe unter Wasser zwar merklich, doch nur sehr allmälig erweicht.

Aus diesen Versuchen zieht Michaëlis den Schluß, daß die Thonerde ein sehr vorzüglicher Hydraulefactor ist, und daß sich ein ganz ausgezeichneter hydraulischer Mörtel erhalten ließe, wenn man Kalk und Thonerde im Verhältnisse von $2Al_2O_3$, $3CaO$ zusammenschmilzt.

V. Lieven[1]) bestätigt durch Versuche, daß Kalkaluminate nach heftigem Glühen mit Wasser schnell erhärten. Dagegen bestreitet derselbe, daß sie, wenn auch nur zum Theil, die dauernde Festigkeit der Cemente veranlassen. Als geglühte Thonerde (aus Kalialaun durch Ammoniak gefällt) in den von Fremy angegebenen Verhältnissen mit Kalk und Wasser gemischt, das Product getrocknet, geglüht und in Pulverform wieder mit Wasser angerührt wurde, ergaben die erhärteten Producte die Zusammensetzung, entsprechend den Formeln $CaO . Al_2O_3 + 6H_2O$; $2CaO . Al_2O_3 + 5H_2O$ und $3CaO . Al_2O_3 + 6H_2O$. Alle diese Aluminate verloren jedoch bei längerem Verweilen in Wasser ihren Zusammenhang wieder, indem sie sich langsam aber stetig in Thonerdehydrat, Kalkhydrat und kohlensauren Kalk zersetzten.

Nach Landrin[2]) sind die Kalkaluminate, welchen Fremy sehr beachtenswerthe hydraulische Eigenschaften zuschreibt, wegen ihrer leichten Löslichkeit in Wasser äußerst schädliche Beimengungen für Erhaltung der Mörtel und Cemente unter Wasser.

Ueber die Rolle des Eisenoxydes in den hydraulischen Mörteln bemerkt v. Fuchs: „Weder Eisenoxydul noch Eisenoxyd wirken auf nassem Wege chemisch auf die Kieselsäure oder den Kalk ein; dagegen verbindet sich damit die Kieselsäure auf trockenem Wege und wird dadurch aufgeschlossen; eine solche Verbindung, wenn das Eisenoxyd nicht in zu großer Menge vorhanden ist, mit Kalk zusammen unter Wasser gebracht, erhärtet, indem der Kalk das mit Kieselsäure verbundene Eisenoxyd substituirt."

Nach der Ansicht Anderer verhält sich das Eisenoxyd der Thonerde ganz analog, indem es ebenfalls beim Glühen mit Kalk eine chemische Verbindung eingeht, welche hydraulische Eigenschaften besitzt.

---

1) Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1867, S. 410.
2) Compt. rend. 94, 1054. Thonind.-Ztg. 1882, S. 177.

So fand Winkler, daß ein Gemisch von 8 Aequivalenten Kalk, 1 Aequivalent Kali und 4 Aequivalenten Eisenoxyd nach dem Brennen eine schwarze, nur wenig gesinterte Masse gab, deren Pulver sich mit Wasser stark erhitzte und ein Product bildete, welches mürbe war, aber nicht zerfiel. Hieraus schloß derselbe, daß die Kieselsäure in den Portlandcementen durch Eisenoxyd vertreten werden kann, daß aber das Eisenoxyd sowohl geringeres Erhärten, als geringere Beständigkeit bewirkt.

Wird nach Heldt 1 Aequivalent Eisenoxyd mit 8 Aequivalenten gebranntem Marmor im Kohlenfeuer zwei Stunden lang geglüht, so erhält man eine zusammengesinterte pulverige Masse, die sich mit Wasser nur wenig erhitzt und bald, an der Luft stehend und befeuchtet, in kohlensauren Kalk und Eisenoxyd zerfällt. Wird dieselbe Mischung mit 1 Aequivalent Kali geglüht und mit Wasser behandelt, so zerfällt die Masse ebenfalls schnell in Eisenoxyd und kohlensaure Salze. Diese Verbindung ist also von geringer Beständigkeit im Wasser. Heldt ist der Ansicht, daß die Bildung von Eisenoxyd-Kalk in der Glühhitze, ähnlich wie die des Thonerde-Kalkes, die Thonzersetzung einleitet und die Zersetzung des kieselsauren Eisens im Thon durch Kalk veranlaßt, welche die Bildung von kieselsaurem Kalke zur Folge hat.

Michaëlis gelang es anfangs nicht, eine dem Thonerdekalk entsprechend sinternde oder gar geschmolzene Masse zu erzeugen. Wenn derselbe die Mischung von Eisenoxyd und Kalk der höchsten Temperatur eines Kohlenfeuers aussetzte, so fand stets eine Reduction des Eisenoxyds zu Oxyduloxyd oder zu Metall statt. Als derselbe dann eine mit Sauerstoff angefachte, oxydirende Flamme anwendete, konnten die Verbindungen $3CaO.Fe_2O_3$ und $3CaO.2Fe_2O_3$ als vollständig geschmolzene, Eisenfrischschlacken sehr ähnlich sehende Massen erzeugt werden. Gepulvert waren dieselben roth- und dunkelbraun.

Mit wenig Wasser angemacht, erwärmte sich die Verbindung $3CaO.Fe_2O_3$ merklich, $3CaO.2Fe_2O_3$ hingegen nicht, ganz analog den Aluminaten. Die Härte nahm mit der Zeit (immer vor Kohlensäure geschützt) derart zu, daß die Masse einem mäßig starken Drucke zu widerstehen vermochte, vom Fingernagel aber noch bequem geritzt werden konnte. Der Luft ausgesetzt wurden sämmtliche Proben ganz vorzüglich hart, also durchaus nicht von der Kohlensäure zersetzt. Unter Wasser aber wurden sie vollständig zerlegt, indem das Wasser sich des Kalkes bemächtigte.

Hieraus schließt Michaëlis, daß es keine Eisenoxyd-Kalk-Verbindung giebt, welche dem Wasser zu widerstehen vermag; es sei denn, daß die Kohlensäure die Masse zuvor so dicht und unzugänglich gemacht habe, daß kein Wasser mehr zu dem noch vorhandenen Eisenoxyd-Kalk gelangen kann. Die vor Kohlensäure geschützte erhärtete Verbindung $Fe_2O_3.3CaO$ entsprach der Formel $Fe_2O_3.3CaO + 2H_2O$ und die Verbindung $2Fe_2O_3.3CaO$ der Formel $4Fe_2O_3.6CaO + 3H_2O$.

Ueber das Verhalten der Kieselsäure zur Magnesia an Stelle des Kalkes sind von v. Fuchs gleichfalls Versuche angestellt worden; derselbe bemerkt hierüber: „Um die Wirkung der Bittererde bei der nassen Cementation zu beurtheilen, muß man voraus wissen, daß diese Erde eine starke Verwandt-

schaft zur Kieselsäure hat und höchst wahrscheinlich sogar eine stärkere als der Kalk, daß sie auch von der Thonerde stark angezogen wird und mit dieser und der Kieselsäure sehr innige und schwer zu zersetzende Verbindungen bildet. Sie läßt sich auch unter den gehörigen Umständen auf nassem Wege mit der Kieselerde in Verbindung bringen. Es entsteht mithin hier die doppelte Frage: wie verhält sich der Kalk zu den bittererdehaltigen Silicaten, und wie der bittererdige Kalk zu den Silicaten überhaupt?

Die bittererdehaltigen Silicate zeigten sich gegen den Kalk auf nassem Wege am allerwiderspenstigsten, und die feinsten Pulver von Diopsid, Tremolit, Talk und Speckstein bekamen mit demselben in Wasser nicht den mindesten Zusammenhang, weder vor noch nach dem Glühen. Indessen gab ich doch die Hoffnung nicht auf, dieses Band, um mich so auszudrücken, durch ein heftiges Feuer lockerer zu machen und somit dem Kalk Eingang zu verschaffen. Dieses gelang mir auch wirklich mit dem Speckstein, den ich vor dem Gebläse einer so starken Hitze aussetzte, als ich nur hervorzubringen im Stande war. Er verhielt sich nun wie ein guter Cement, was um so merkwürdiger ist, da er durch das Brennen eine solche Härte erlangt hatte, daß er lebhaft Funken mit dem Stahle gab.

Auch der geschmolzene Tremolit, welcher nebst Bittererde auch Kalk enthält, zeigte sich nicht ganz schlecht. Es möchten jedoch in keinem Falle die Silicate, welche viel Bittererde enthalten, als Cemente sehr zu empfehlen sein, weil ihnen immer sehr schwer beizukommen sein wird.

Wegen dieses Widerstandes der bittererdehaltigen Silicate gegen den Kalk ließ sich im Voraus vermuthen, daß, wenn die Bittererde den Silicaten gegenüber gestellt wird, wie es geschieht, wenn zur Cementation bittererdehaltiger Kalk angewendet wird, die Resultate noch besser ausfallen werden, als mit reinem Kalk, und dieses bestätigten mir auch zahlreiche Versuche, welche ich mit gebranntem Dolomit angestellt habe. Die meisten Proben zogen schneller an, und viele bekamen eine größere Härte als mit Kalk, und selbst einiger ungebrannter Thon, namentlich der Porzellanthon, bekamen nach längerer Zeit eine nicht unbedeutende Consistenz. Auch auf das Glas und den ungebrannten Feldspath wirkte der gebrannte Dolomit viel stärker ein als der Kalk. Die bittererdehaltigen Silicate widerstanden ihm aber ebenso hartnäckig wie diesem."

Nach Winkler ist ein Gehalt an Bittererde im Portlandcement nachtheilig; der Grund liegt nach ihm darin, daß dreibasische Bittererde-Kalk-Silicate durch Wasser nicht zerlegt werden.

Michaëlis führt an, daß er bei Versuchen, die er zum Zwecke angestellt hat, um zu sehen, ob und wie weit der Kalk durch Magnesia ersetzt werden kann, zu wenig günstigen Resultaten gelangte.

Heldt giebt an, daß er mit fein geriebenem, geglühtem Asbest, Serpentin, Batrachit, Speckstein, Talk und Diopsid nach wochenlangem Stehen mit Kalkbrei kein erhärtetes Kalksilicat erhielt. Auch konnte er mit künstlich durch Fällung von Bittersalzlösung mit Wasserglas erzeugter kieselsaurer Magnesia von der Zusammensetzung $MgO.3SiO_2 + 2H_2O$ und Kalkbrei keine erhärtete Masse erhalten.

Rivot und Chatoney[1]) behaupten, daß die Magnesia sich mit Kieselsäure und Thonerde ähnlich verhält wie der Kalk; sie bildet nämlich ebenfalls damit Verbindungen, die fähig sind, durch Wasseraufnahme zu erhärten, und zwar noch besser als die Kalkverbindungen der Wirkung des Meerwassers zu widerstehen vermögen. Magnesiahaltige Kalksteine anzuwenden, sei aber durchaus nicht rathsam, weil das Magnesiasilicat und das Magnesiaaluminat das Wasser nicht so schnell aufnehmen, wie die entsprechenden Kalkverbindungen, und sie außerdem nach dem Einbringen als Mörtel in das Wasser zum Theil durch den im Ueberschuß verbliebenen Kalk zersetzt werden könnten, wenn das Gemenge nicht vorher, mit etwas Wasser angemacht, lange genug gestanden hat.

Lieven[2]) schließt aus einer Reihe von Versuchen, daß die Magnesia bei dem Erhärten eine ebenso wesentliche Rolle spielt als der Kalk, indem sie wie dieser, wasserhaltige, einfache und Doppelsilicate bildet und zwar entweder durch Vermittelung der Alkalien oder auch, wenngleich langsamer, bei Abwesenheit derselben. Mit Wasser bereitete Mischungen von 1 Aequivalent Magnesia und 1 Aequivalent Kieselerde erhärteten nach dem Trocknen, heftigem Glühen und Pulvern mit Wasser angerührt schnell und vollkommen und ergaben die Zusammensetzung $2(MgO.SiO_2) + 9H_2O$ und $4(MgO.SiO_2) + 22H_2O$.

Die Alkalien vermitteln die Silicatbildung auf nassem Wege. Wenn ein hydraulischer Mörtel, der Alkalien enthält, im Wasser erhärtet, so werden die Alkalien zum Theil oder ganz ausgeschieden. Fuchs schreibt den Alkalien keinen directen Einfluß auf das Erhärten des Wassermörtels zu, weil sie sich nicht chemisch mit dem Kalke verbinden. Da sie aber die Kieselsäure in einem gewissen aufgeschlossenen Zustande erhalten und ihren Platz allmälig dem Kalke überlassen, so ist ihre Gegenwart als vortheilhaft zu betrachten.

Auch nach Michaëlis sind die kieselsauren Alkalien für den Erhärtungsproceß nützlich; sie führen die Kieselsäure in eine lösliche, verbindungsfähige Form über, in welchem Zustande sie sich mit Kalk auf nassem Wege verbindet; die kieselsauren Alkalien wirken also indirect cementirend.

Nachdem wir in Vorstehendem die bisher gewonnenen Untersuchungsresultate über die Natur und Bedeutung der einzelnen Bestandtheile der Cemente zusammengestellt haben, wollen wir daran anschließend die verschiedenen Theorien der Erhärtung der hydraulischen Mörtel besprechen.

Der beim Erhärten der hydraulischen Mörtel stattfindende chemische Vorgang ist zuerst von v. Fuchs erklärt worden[3]); derselbe bewies, daß die Erhärtung im Wesentlichen auf einer chemischen Verbindung zwischen

---

[1]) Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1856, S. 131.

[2]) Ebend. 1867, S. 410.

[3]) Ueber die Eigenschaften, Bestandtheile und chemische Verbindung der hydraulischen Mörtel. Eine von der Haarlemer Gesellschaft der Wissenschaften im J. 1832 preisgekrönte Schrift. Dingl. pol. J. **49**, 271 ff.

aufgeschlossener Kieselsäure und Kalkhydrat, welche sich auf dem nassen Wege allmälig herstellt, beruhe, und daß es folglich kein Cement ohne Kieselerde geben könne. Jeder hydraulische Mörtel, sei er eine Mischung von Puzzolanen mit Kalk oder sei er gebrannter Mergel (der Portlandcement war damals noch nicht bekannt) enthält außer freiem Kalk freie Kieselsäure und kalkarme Silicate in aufgeschlossenem Zustande; nach dem Anmachen mit Wasser verbindet sich der Kalk mit der Kieselsäure oder dem Silicate unter Aufnahme von chemisch gebundenem Wasser, und bildet damit eine erhärtete, dem Zeolith ähnliche Verbindung.

Im Gegensatz dazu stellte Vicat in Frankreich die Ansicht auf, daß beim Brennen eines thonhaltigen Kalksteins ein Doppelsilicat von Thonerde und Kalk entsteht, welches sich hydratisirt, d. h. Wasser chemisch bindet, ähnlich dem gebrannten Gyps, und daß dadurch das Erhärten der hydraulischen Mörtel bedingt ist. Auch Kuhlmann[1]) ist ähnlicher Ansicht; er sagt hierüber: die kieselerdehaltigen Kalksteine oder der mit Thon gemengte fette Kalk geben beim Brennen Doppelsilicate oder Doppelaluminate von Kalk und einem Alkali; diese künstlichen Verbindungen sind den natürlichen analog, welche die Mineralogen Mesotyp, Apophyllit, Stilbit nennen. Diese verschiedenen Verbindungen bilden Hydrate und wenn sie in den natürlichen hydraulischen Kalken vorkommen, verlieren sie dieses Wasser beim Brennen, um es alsdann beim Befeuchten wieder aufzunehmen wodurch sie ein schnelles Erhärten der Mörtel herbeiführen. Bilden sich diese Doppelsalze oder analogen Verbindungen während des Brennens der künstlichen Gemenge, so sind die erzeugten Silicate wasserfrei und befinden sich daher in dem Augenblicke, wo man sie mit Wasser in Berührung bringt, in demselben Zustande, wie die natürlichen Producte nach ihrem Brennen. Es findet daher beim Erhärten der hydraulischen Mörtel eine Wirkung statt, analog derjenigen, welche das Härten des Gypses veranlaßt, nämlich eine Hydratbildung.

v. Pettenkofer[2]) erklärte 1849 die Erhärtung aller hydraulischen Mörtel, auch der Portlandcemente, nach der Theorie von v. Fuchs, nimmt dagegen an, daß der Grad der Erhärtung nicht sowohl von der Quantität als von der chemischen Zusammensetzung des Thones und von dem Cohärenzzustande des Cementes abhänge. Gleichwie der natürlich vorkommende Opal ein härteres hydraulisches Product giebt, als die präcipitirte pulverige Kieselsäure, so ist es auch mit den verschiedenen übrigen Cementstoffen oder Silicaten, je cohärenter und dichter ein Material ist, desto festeren hydraulischen Mörtel wird es liefern.

Nach Feichtinger[3]), der die Ansichten von v. Fuchs und v. Pettenkofer im Allgemeinen acceptirte, sind bei der Erhärtung der hydraulischen Mörtel wesentlich drei chemische Wirkungen anzunehmen, ohne die ein vollkommenes Erhärten der hydraulischen Mörtel nicht eintreten kann. Diese sind: 1) die Hydratisirung der Silicate, Kieselerde und des Aetzkalkes; 2) die Verbindung der Silicate und Kieselsäure mit Kalkhydrat und 3) die Ueber-

[1]) Annal. de Chim. et de Phys. Nov. 1847, p. 364.
[2]) Dingl. pol. J. 113, 368.
[3]) Ebend. 152, 40.

führung des überschüssigen Kalkhydrats in kohlensauren Kalk. Durch das erste Moment erfolgt das Anziehen oder Abbinden, d. h. die hydraulischen Mörtel gewinnen dadurch soviel Zusammenhang, daß sie im Wasser nicht mehr zerfallen; durch das zweite erlangen sie die dem Cohärenzzustande der Kieselsäure oder des Silicats entsprechende Festigkeit und Härte, welche durch das dritte Moment noch gesteigert und zum Abschluß gebracht wird.

Im Jahre 1856 stellte Aug. Winkler[1]) die Ansicht auf, daß sich die hydraulischen Mörtel nach den chemischen Vorgängen, welche das Erhärten unter Wasser bewirken, und nach den verschiedenen chemischen Verbindungen, die in den noch nicht erhärteten Mörteln vorhanden sind, in zwei Classen eintheilen lassen. Die erste Classe, die er als Romancemente bezeichnet, umfaßt die Gemenge von Puzzolane, Traß, Ziegelmehl ꝛc. mit kaustischem Kalk und solche hydraulische Mörtel, die durch gelindes Brennen von Mergeln erhalten werden. Alle diese Romancemente enthalten im frischen Zustande kaustischen Kalk. Als die zweite Classe sind die Portlandcemente zu betrachten; diese enthalten im frischen Zustande keinen kaustischen Kalk.

Die chemischen Verbindungen, welche im frischen und erhärteten Romancement vorhanden, und die Art und Weise, wie dieselben das Erhärten eines Romancementes unter Wasser bewirken, ist von v. Fuchs vollständig nachgewiesen worden und besteht, abgesehen von dem sich bildenden kohlensauren Kalk, wesentlich in dem Verbinden eines sauren Silicats oder freier aufgeschlossener Kieselsäure mit vorhandenem kaustischem Kalk zu basisch kieselsaurem Kalk.

Anders verhält sich dies bei den Portlandcementen. Der chemische Vorgang, welcher, hervorgerufen durch Wasser, das Erhärten eines Portlandcementes bewirkt, besteht in dem Zerfallen eines Silicats, das 3 bis 4 Aequivalente Basis, Kalk und Alkalien auf 1 Aequivalent Säure, Kieselsäure, Thonerde und Eisenoxyd enthält, in freien kaustischen Kalk und solche Verbindungen zwischen Kalk mit Kieselsäure und Kalk mit Thonerde, die sich auf nassem Wege zwischen den genannten Körpern herstellen lassen. Vom Eisenoxyd ist nicht wahrscheinlich, daß es in erhärteten Portlandcementen mit Kalk verbunden ist. Der ausgeschiedene Kalk verbindet sich an der Luft mit Kohlensäure zu kohlensaurem Kalk.

Ein erhärteter Portlandcement enthält also dieselben Verbindungen, wie ein erhärteter Romancement. Es bilden sich diese Verbindungen aber unter der Einwirkung von Wasser auf entgegengesetzte Art. Ihre Unlöslichkeit in Wasser und ihr inniges Aneinanderlagern während des allmäligen Entstehens bewirkt, daß das ursprüngliche Pulver nach und nach in eine zusammenhängende harte Masse übergeht.

Aus Versuchen schließt Winkler weiter, daß die Kieselsäure in den Portlandcementen durch Thonerde und Eisenoxyd vertreten werden kann. Die Thonerde vermindert hierbei den Grad des Erhärtens nicht, macht aber den Cement weniger

---

[1]) Journ. prakt. Chem. 67, 444.

geeignet, den Einwirkungen der Kohlensäure zu widerstehen. Das Eisenoxyd bewirkt sowohl geringeres Erhärten als geringere Beständigkeit.

Der Winkler'schen Ansicht trat Feichtinger[1]) durch Versuche entgegen und suchte die Richtigkeit der Fuchs'schen Theorie auch für die Portlandcemente zu beweisen. Hierauf erwiderte Winkler[2]) und fand in den Feichtinger'schen Versuchen gerade eine Bestätigung seiner eigenen Ansicht, welche er noch durch neue Versuche zu beweisen suchte.

Rivot und Chatoney[3]) erklären den Proceß der Erhärtung der hydraulischen Mörtel in folgender Weise:

Wenn die Kalksteine Kieselsäure in Form von feinem Quarzsand ohne Beimengung von Thon enthalten, so bewirkt das Brennen die Verbindung fast des ganzen Sandes mit einem Theile des Kalkes und die vollständige Austreibung der Kohlensäure. Der so erhaltene hydraulische Kalk ist ein Gemenge von kieselsaurem Kalk von bestimmter Zusammensetzung mit im freien Zustande verbliebenen kaustischem Kalk und unverbundenem Sande. Die hydraulische Eigenschaft beruht lediglich auf dem Gehalt an kieselsaurem Kalk, welcher die Zusammensetzung $3\,CaO.SiO_2$ hat und welcher beim Erhärten des Mörtels 6 Mol. Wasser bindet, so daß ein wasserhaltiger kieselsaurer Kalk von der Zusammensetzung $3\,CaO.SiO_2 + 6\,H_2O$ entsteht.

Enthält der Kalkstein Thon, so sind die beim Brennen eintretenden Reactionen verschieden, je nach dem Mengenverhältniß des Thons und dem beim Brennen angewendeten Hitzegrade. Wenn die Hitze beim Brennen nicht höher gesteigert wird, als nöthig ist, um die Kohlensäure auszutreiben, verbindet der Kalk sich abgesondert mit Kieselsäure und mit Thonerde, und bildet kieselsauren Kalk, $3\,CaO.SiO_2$, und Thonerdekalk, $3\,CaO.Al_2O_3$. Jede dieser Verbindungen nimmt bei Gegenwart von Wasser 6 Mol. desselben auf. Das Kalkaluminat ist aber weniger beständig als das Silicat und kann langsam durch Wasser zersetzt werden. Wird das Brennen bei sehr starker Hitze ausgeführt, so ist das Product ungleichmäßig. Die am wenigsten der Hitze ausgesetzt gewesenen Theile enthalten noch Kalkaluminat und Kalksilicat im nicht mit einander verbundenen Zustande, die stark erhitzten Theile dagegen enthalten die Kieselsäure, die Thonerde und den Kalk mit einander verbunden. Bei Gegenwart von Wasser zersetzt sich das Silicat von Thonerde und Kalk ziemlich rasch in Kalkaluminat und Kalksilicat, welche zur Erhärtung beitragen können, gleich als ob sie nicht vorher verbunden gewesen wären.

Der Theorie von Rivot und Chatoney zufolge würden demnach die hydraulischen Eigenschaften der Cemente durch bloße Wasseraufnahme bedingt, ähnlich wie das Erhärten von Gyps, eine Ansicht, die schon früher, wie oben angegeben, von Vicat und Kuhlmann aufgestellt wurde.

---

[1]) Feichtinger, Dingl. pol. J. 174, 437; 176, 378.

[2]) Winkler, Ebend. 175, 208; 178, 223.

[3]) Compt. rend. 43, 302 u. 785. Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1856, S. 131.

Heldt[1]) kam durch umfassende Versuche zu folgender Ansicht. Beim Glühen von Kalk mit kieselsaurer Thonerde bildet sich, in Folge der größeren Verwandtschaft, welche die Thonerde zu Kalk besitzt, ein Aluminat des Kalks und die in Folge dessen frei gewordene Kieselerde vereinigt sich mit dem überschüssigen Kalk zu einer basischen Verbindung, die mit 3 Aequivalenten Kalk ihre Begrenzung findet, während 1 Aequivalent Thonerde mit Leichtigkeit 4 Aequivalente Kalk binden kann. — In gleicher Weise geschieht die Zersetzung des kieselsauren Eisenoxyds in Folge der Verwandtschaft des Eisenoxyds zum Kalk, obwohl die Verwandtschaft beider zu einander viel geringer ist, als die der Thonerde zum Kalk.

Der aus Thon und Kalk gebrannte Mörtel enthält also Thonerde-Kalk, Eisenoxyd-Kalk und Kieselsäure mit überschüssigem Kalk zusammengesintert (5 bis 6 Aequivalente in der Regel) als Hauptbestandtheil.

Unter der Einwirkung des Wassers zerfällt die mit Kalk übersättigte kieselsaure Kalkverbindung nebst der Verbindung des Kalks mit Thonerde und Eisenoxyd in Thonerde und Eisenoxydhydrat — die als solche wirkungslos im Cement verbleiben — und in Kalk. Dieser letztere wird theils Carbonat, theils giebt er, als Hydrat gelöst, das Mittel zur Bildung eines basischen Kalksilicats, die unter Erhärtung vor sich geht. Diesem Silicate, dessen Bildung die Ursache der Erhärtung ist, giebt Heldt die Formel:

$$3\,SiO_2 . 5\,CaO + 5\,H_2O.$$

Bei fortdauernder Einwirkung der Kohlensäure, wie bei altem erhärteten Cement setze sich das basische Silicat nach und nach in freie Kieselsäure, in neutrales Silicat und kohlensauren Kalk um. Die freie Kieselsäure verkitte (wie bei Gemengen von Kreide und Wasserglas) die Theilchen des Carbonats zu steinharter Masse. Die Bildung jenes basischen Kalksilicats könne nur in einem alkalischen Medium Platz greifen, daher der fördernde und beschleunigende Einfluß der Alkalien im Cemente.

Von E. Fremy[2]) wurde zunächst die Unrichtigkeit seiner Landsleute, Vicat, Rivot und Chatoney, bewiesen, welche die Erhärtung auf eine Wasseraufnahme der im Feuer gebildeten Thonerde-Kalk- und Kalksilicate zurückführten, indem er zeigte, daß weder Kalksilicate, noch Thonerde-Kalksilicate (künstlich dargestellte) in Berührung mit Wasser erhärten. Nach Fremy ist die Erhärtung das Resultat von zwei verschiedenen chemischen Wirkungen, nämlich:

1. der Hydratisirung der Kalkaluminate, und
2. der Reaction des Kalkhydrats auf das Kalksilicat und das Kalkthonerdesilicat, welche in allen Cementen enthalten sind und in diesem Falle wie Puzzolane wirken.

Durch Brennen eines thonigen Kalksteins erhält man nur dann einen guten Cement, wenn die Menge des Thons zu der des Kalks in solchem Verhältnisse steht, daß sich erstlich ein Kalkaluminat von der Zusammensetzung $CaO . Al_2O_3$, oder $2\,CaO . Al_2O_3$, oder $3\,CaO . Al_2O_3$ bilden kann, welches Kalkaluminat das

[1]) J. prakt. Chem. 94, 209.
[2]) Compt. rend. 60, 993. Dingl. pol. J. 177, 376.

wesentlichste Agens der Erhärtung ist; außerdem entstehen aber beim Brennen zugleich mit Säuren aufschließbare Silicate (Kalk- und Thonerdesilicate), welche unfähig sind, Wasser zu binden und für sich zu erhärten, wohl aber im Stande sind, nach Art der Puzzolane mit Kalk zu erhärten. Dieser Kalk liefert, wenn kein freier Kalk vorhanden ist, das Alüminat, welches sich mit Wasser unter Abgabe eines Theils von Kalk zersetzt.

In einer drei Jahre später folgenden Abhandlung von Fremy[1]) treten die Aluminate gänzlich in den Hintergrund gegen die Wirkung der Silicate als Puzzolane, indem derselbe ausdrücklicher betont, daß beim Brennen Silicate von verschiedener Zusammensetzung entständen, aus Kieselsäure und Thonerde einfache und doppelte, die sämmtlich die Eigenschaft besitzen, freien Kalk aufzunehmen. Hierauf, keineswegs auf Hydratisirung der Silicate, beruhe die Erhärtung der Cemente.

Prinz zu Schönaich-Carolath[2]) lieferte Beiträge zur Theorie des Portlandcementes, worin er sich, anknüpfend an die Arbeiten von v. Fuchs, v. Pettenkofer und Feichtinger, der Ansicht dieser am meisten zuneigt.

Dr. W. Michaëlis[3]) bekennt sich zu der zuerst von A. Winkler ausgesprochenen Ansicht, daß der Portlandcement sich seiner chemischen Natur nach dadurch vom Romancemente (den hydraulischen Kalken) unterscheide, daß er keinen freien Kalk enthalte.

In den hydraulischen Kalken beruhe die Erhärtung zunächst auf der Aufschließung der Kieselsäure und ihrer Verbindungen im Feuer, dann auf der Vereinigung von Kalk und Kieselsäure einerseits und von Kalk mit Thonerde und Eisenoxyd andererseits, unter Eintreten von Wasser, wahrscheinlich nach der Formel:

$$2CaO.SiO_2 + 4H_2O$$

und

$$3CaO.Al_2O_3\,(Fe_2O_3) + 3H_2O.$$

Zu beiden Endproducten, dem gewässerten Silicat und Aluminat, geselle sich danu noch kohlensaurer Kalk aus dem ursprünglich frei vorhanden gewesenen überschüssigen Kalk und der Kohlensäure der Luft oder des Wassers.

Was die Portlandcemente anlangt, so bestehen auch diese nach Michaëlis aus Kalksilicat und Kalkaluminat (Eisenoxyd-Kalk). Indem er nun die Annahme einiger Autoren von einer, wenn auch nur geringen Menge von freiem Kalke im Portlandcemente vollkommen verwirft und das Abgeben von Kalkhydrat bei der Behandlung mit Wasser aus der Zersetzbarkeit des Cementes durch Wasser erklärt, indem er sich ferner auf die Thatsache stützt, daß in Wasser erhärteter Portlandcement, nochmals gebrannt, sein Hydratwasser abgiebt und nachher wieder mit Wasser denselben Härtegrad und dieselbe Festigkeit erlangt, scheint ihm kein Bedenken mehr gegen die Ansicht zu bestehen, daß das Erhärten des Portlandcementes einfach auf der chemischen Bindung von Wasser von Seiten der beim Brennen entstandenen Verbindungen beruhe. Damit schließt er jedoch nicht aus, daß auch

---

[1]) Compt. rend. 67, 1205. Dingl. pol. J. 192, 53.
[2]) Chem. Centralbl. 1866, S. 1062.
[3]) Die hydraulischen Mörtel ꝛc. 1869, S. 194.

andere complicirtere Reactionen nebenher verlaufen, so die Zersetzung sehr basischer Kalkaluminate (Eisenoxydkalk), welche drei und mehr Aequivalente Kalk auf 1 Aequivalent Sesquioxyd enthalten, durch Wasser in minder basische erhärtende Verbindungen und Kalkhydrat, so die Bildung von kohlensaurem Kalk aus Kalkhydrat und durch Zersetzung von Kalk- und Alkalisilicat durch Kohlensäure. Die dabei frei werdende Kieselsäure schlägt sich, soweit sie nicht mit noch vorhandenem Kalkhydrat Verbindungen eingeht, als Verkittungsmittel der Cementtheilchen nieder. Damit hänge auch die Beobachtung zusammen, daß Portlandcement an der Luft größere Härte annimmt als unter Wasser.

Der erhärtete Portlandcement enthält nach Michaëlis daher im Wesentlichen:

1) basisches, stark erhärtendes Kalksilicat von der Formel:

$$5\,CaO\,.\,3\,SiO_2 + 5\,H_2O;$$

2) stark erhärtendes Kalkaluminat (Eisenoxyd-Kalk) von der Formel:

$$3\,CaO\,.\,Al_2O_3\,(Fe_2O_3) + 3\,H_2O \text{ und}$$

3) Kalkhydrat.

Schulatschenko[1]) unterscheidet ebenfalls zweierlei Cemente: solche, die freien Kalk enthalten (Romancemente) und deren Theorie des Erhärtens v. Fuchs gegeben hat, und solche, die keinen freien Kalk enthalten (Portlandcemente) und deren Erhärtungsproceß noch nicht sicher ermittelt ist.

Prof. Dr. Friedr. Knapp[2]) bespricht in einer sehr werthvollen, im Jahre 1875 erschienenen Abhandlung über Mörtel und Cement den Grund, weshalb die bis dahin ausgeführten Untersuchungen über das Wesen der Cemente zu keiner einheitlichen abgeschlossenen Erkenntniß geführt haben. Wir geben die bezüglichen Erörterungen, da dieselben von großem Interesse sind, ausführlicher wieder.

Wie immer in der Wissenschaft, so weisen auch hier solche verwirrende Meinungsverschiedenheiten und widersprechende Ergebnisse auf einen Mangel in der Methode zurück, auf eine Unklarheit der Fragestellung. In erster Linie gehört hierher der durch die ganze Discussion sich ziehende Mangel an Unterscheidung zwischen dem chemischen und dem mechanischen Proceß.

Wenn die Theilchen eines Cementes mit Wasser steinartigen Zusammenhang gewinnen, so ist dieses zunächst ein rein mechanischer Vorgang. Dieser mechanische Vorgang setzt andere Bedingungen voraus, von denen der chemische Proceß nur eine, allerdings sehr wesentliche ist.

Umgekehrt ist es keineswegs eine logische Nothwendigkeit, daß die Theilchen eines Cementes zu Stein zusammenwachsen müssen, wenn in diesem Cement ein chemischer Proceß, eine Bildung von dem oder jenem Silicat, oder Aluminat u. s. w., eine Bindung von Hydratwasser vor sich geht. Unzweifelhaft ist die wesentlichste Bedingung der Versteinerung des gemeinen Luftmörtels die Bildung von kohlen-

---

[1]) Zeitschr. f. Chemie 1869, S. 14 u. 281.

[2]) Amtlicher Bericht über die Wiener Weltausstellung 1873. Erstattet von der Centralcommission des Deutschen Reiches 1875, 3, 588.

aurem Kalk, aber die Umwandlung des Kalkhydrats in kohlensauren Kalk bedingt nicht allemal die Versteinerung; nicht bloß die Thatsache, daß es zu Stande kommt, sondern auch die Art, wie es zu Stande kommt, entscheiden. Es handelt sich stets um das Zusammentreffen von verschiedenartigen Bedingungen und die Aufgabe kann nur darin bestehen, diese im Einzelnen zu erkennen und in ihrem Zusammenwirken zu begreifen.

Im Gegensatze dazu hat man bislang die Erscheinung viel zu einseitig als eine bloß chemische aufgefaßt, und wo man am weitesten ging, diese geradezu mit der mechanischen identificirt. Man dachte sich die Erhärtung der Cemente schlechthin als eine Function dieser oder jener chemischen Verbindung; indem man diese Verbindung zu bestimmen suchte, glaubte man zur Erklärung der Erscheinung zu gelangen. Man kam — gegen alle Logik — dahin, einen mechanischen Vorgang durch eine chemische Gleichung auszudrücken.

In zweiter Linie ist die übertriebene Gewöhnung an Hypothesen und Annahmen, ihre Aufstellung als wissenschaftliche Glaubenssätze, gegenüber den objectiv festgestellten Thatsachen — mit einseitiger Auslegung von Beobachtungen, sowie mit unzulässiger Verallgemeinerung von nur im Besonderen gültigen Wahrnehmungen im Gefolge — weiteres Hinderniß geworden für klarere Erkenntniß.

In Ermangelung zuverlässiger Mittel sind wir nicht im Stande, mit Bestimmtheit nachzuweisen, welche Verbindungen beim Brennen der Cemente entstehen, ob eine oder mehrere, ob Silicate oder Aluminate neben einander, oder ob ein Silicat aus sämmtlichen Basen. Es ist vorerst nicht zu entscheiden, ob die Erhärtung von einer bestimmten Verbindung ausgeht und von welcher. Das Alles sind nur Annahmen und Hypothesen. Feststehende Thatsachen sind für die Kieselsäurecemente nur die folgenden als Bedingung des steinartigen Erhärtens: sie müssen durch Brennen in Säure vollkommen aufschließbar geworden sein; sie nehmen Wasser in chemischer Verbindung auf und geben etwas von ihrem Bestande an das Wasser ab, nämlich die Alkalien, eine unbeträchtliche Menge Kalk und eine noch geringere an Kieselsäure. Bei den gypshaltigen Cementen und bei erhärtender Magnesia ist der Fall so einfach, daß er keine Verschiedenheit der chemischen Deutung zuläßt, es liegt außer der Aufnahme von Hydratwasser keine weitere Erscheinung vor.

Die eigentliche Aufgabe zur Erforschung der Ursache des Erhärtens kann demnach nicht in der einseitigen Ermittelung des bei der Erhärtung der Cemente obwaltenden chemischen Processes, sondern in dem Aufsuchen des Verhältnisses der gegenseitigen Abhängigkeit des chemischen und mechanischen Processes bestehen. Die Anwendung aller Mörtel ohne Ausnahme, nicht bloß der hydraulischen, beruht auf der Entstehung eines zusammenhängenden Ganzen aus fein zertheiltem Material und dieses Zusammenwachsen wiederum auf dem Zusammenwirken eines chemischen und eines mechanischen Processes unter bestimmten Bedingungen. Vor der richtig gestellten Aufgabe fällt daher der Unterschied zwischen den verschiedenen Mörteln, sie muß, wenn sie genügend gelöst werden soll, alle gemeinschaftlich umfassen. Noch mehr. Sie müßte sogar den Nachweis liefern, warum in gewissen Fällen ein und derselbe chemische Proceß entgegengesetzte mechanische Wirkung haben kann, warum z. B. bei der Magnesia hydraulische Erhärtung, bei dem

gewöhnlichen Kalk Zerfallen in äußerster Zertheilung eintritt. Die richtig gestellte Aufgabe muß alle einschlagenden Fälle, sie muß die Totalität der zusammengehörigen Erscheinungen umfassen.

Daß die Eigenschaften der Cemente, worauf ihre Anwendung beruht, keiner bestimmten chemischen Zusammensetzung angehört und daß eine die hydraulischen Eigenschaften repräsentirende chemische Formel nicht existirt, geht aus den Studien von F. Schott[1]) hervor, der für den Portlandcement nachgewiesen hat, daß bedeutende Eingriffe in seinen chemischen Bestand möglich sind, ohne der Erhärtungsfähigkeit zu nahe zu treten. Mit einer Lösung von kohlensaurem Ammoniak z. B. erhärtet derselbe noch besser als mit Wasser, obwohl das Product 57,6 Proc. kohlensauren Kalk und 2,1 Proc. kohlensaure Magnesia, beide vor dem Abbinden fertig gebildet, enthielt. Dem Portlandcement sind damit volle $^{3}/_{4}$ seines disponiblen Kalkes entzogen. Aus dem mit kohlensaurem Ammoniak erhärteten Product lies sich zehnmal mehr lösliche Kieselsäure (9,18 Proc.) ausziehen, als aus dem mit bloßem Wasser erhärteten (0,883 Proc.). Siehe S. 205.

Auf rein synthetischem Wege kam Schott ferner zu folgenden nicht minder bedeutsamen Ergebnissen. Gemenge aus chemisch reinen Materialien, nämlich gemahlenem Quarz, Thonerde und Eisenoxyd (erstere aus schwefelsaurer Thonerde, letzteres aus Chlorid durch Ammoniak gefällt) und kohlensaurer Kalk (aus Chlorcalcium durch kohlensaures Ammoniak gefällt) in folgenden Verhältnissen:

	1.	2.	3.	4.
Kieselsäure	23,8	23,8	23,3	24,3
Thonerde	11,4	—	6,5	6,9
Eisenoxyd	—	11,4	4,7	4,8
Kalk	64,8	64,8	65,4	64,1
	100,00	100,00	99,9	100,1

bei beginnender Weißgluth gebrannt, fein zerrieben und mit Wasser angemacht, gaben sämmtlich trefflich erhärtende Producte, auch der Cement Nr. 2, gänzlich frei von Thonerde, aus bloßem Eisenoxyd mit Kalk. Eine andere Probe von letzterem, der man 1,2 Proc. Aetznatron zugefügt hatte, lieferte eine schwarzbraune und zwar die härteste bis dahin beobachtete Cementmasse. Die Proben Nr. 3 und 4, lediglich im Kalkgehalte verschieden, mit noch mehr Kalk versetzt (7,7 und 8,0 Proc.), zerfielen zu Pulver, welches jedoch mit Wasser angemacht an der Luft wieder bedeutend nacherhärtete. Alle Gemenge von obigen Stoffen, die bei den praktisch möglichen Feuergraden hinreichend sintern und dicht werden, und nach dem Glühen nicht zerfallen, eignen sich zu Cementen. Alle kommen in der Eigenschaft überein, Wasser chemisch zu binden und zwar langsam ohne merkliche Entwickelung von Wärme, wie die fabrikmäßig erzeugten Portlandcemente. Aber nicht, daß sie Wasser binden, sondern die Art, wie sie es binden, ist das Charakteristische und Entscheidende. Darüber ist folgende Beobachtung von Schott sehr belehrend. Englischer Portlandcement wurde von den sandgroben

---

[1]) Dingl. pol. J. 202, 434 u. 513.

Theilen durch Abschlämmen (aus Petroleumsprit) befreit; der zarte flockige Theil allein mit einem großen Ueberschuß von Wasser unter fleißigem Umschütteln acht Tage stehen gelassen, so daß das Ganze einen losen Schlamm bildete, nahm 14,8 Proc. Wasser auf; derselbe Portlandcement in einen Kuchen gegossen und sechs Monate unter Wasser aufbewahrt, 20,4 Proc. Auch dann war die Wasseraufnahme noch nicht beendigt, denn vollkommen erhärteter Portlandcement, fein zerrieben und mit Wasser angemacht, bindet nochmals ab und nimmt einige Festigkeit an, offenbar durch Bloßlegung von Theilchen, zu denen das Wasser nicht hatte gelangen können.

Von Schott wurde auch nachgewiesen, daß die Korngröße des Portlandcementes von Einfluß auf die Erhärtung ist. Der nach der Abscheidung des staubförmigen feinen Theiles vom besten Portlandcement bleibende Rückstand hat das Korn von mittelgrobem Sand. Er gewinnt mit Wasser angemacht auch nach Monaten keinen nennenswerthen Zusammenhang, bindet aber, nachdem er feingerieben wird, sogleich ab und erlangt denselben Härtegrad wie der mehlfeine Theil. Bei grobem Korn sind der Berührungspunkte zu wenig, das Wasser wirkt nur sehr oberflächlich und dringt nicht in das Innere der groben Körner vor, die Zerkleinerung muß der Wirkung eine weite Strecke entgegenkommen.

Knapp weist noch darauf hin, daß die hydraulische Eigenschaft bedingt ist von dem physikalischen Zustande des Cementes, nämlich von der Sinterung im Feuer. Mit der Sinterung Hand in Hand geht eine starke Verdichtung der Masse und mit der Verdichtung eine gründliche Veränderung im Verhalten zu Wasser; ein stark bis zur Sinterung gebrannter Cement giebt einen viel härteren Mörtel als ein schwächer gebrannter. Auch ist es Thatsache, daß Portlandcement um so härter wird, je langsamer und allmäliger die Bindung von Wasser erfolgt und je weniger Wärme hierbei auftritt. — Nicht ohne Einfluß ist auch die Menge des beim Anmachen verwandten Wassers, indem die Härte durch zu reichlichen Zusatz von Wasser verringert wird. Die normale Erhärtung der hydraulischen Producte überhaupt, also auch der Cemente, hängt daher nach Knapp gleichzeitig von mehreren Bedingungen ab, nämlich:

1. davon, daß überhaupt Wasser gebunden wird,
2. daß dabei keine merkliche Wärme entwickelt wird, daß der Proceß langsam vor sich geht,
3. von der Menge des Wassers, welches gebunden wird,
4. von der Menge des beim Anmachen des gepulverten Cementes verwendeten Wassers,
5. von dem Korn der gepulverten Masse,
6. von der Zeit der Einwirkung des Wassers,
7. von dem mechanischen der Ausdehnung entgegenwirkenden Widerstande,
8. von der Raumerfüllung und dem Volumgewichte.

Von Dr. Erdmenger[1]), der sich im Allgemeinen den Ausführungen von Knapp anschließt, wurde in neuester Zeit die Frage der Constitution des

[1]) Thonind.-Ztg. 1879, S. 4, 171.

Portlandcementes und der Theorie der Cementhärtung in mehreren Aufsätzen eingehend besprochen, aus welchen wir Nachstehendes entnehmen: Im Hinblick auf die bisherigen fruchtlosen Bemühungen, den Portlandcement als eine bestimmte Mineralverbindung, nach genau fixirten stöchiometrischen Gesetzen gebildet, nachzuweisen, liegt es nahe, die Vermuthung auszusprechen, daß der Portlandcement eine derartige Verbindung gar nicht ist und mithin auf dem Wege der Analyse die Materialien zu einer rationellen Theorie über die Zusammensetzung des Cementes nicht beschafft werden können. Dr. Erdmenger faßt daher den Portlandcement nicht mehr auf als eine in engen Grenzen fixirte Mineral-Silicatverbindung, sondern vielmehr als eine durch Schmelzmittel aufgeschlossene Silicatverbindung, als einen geschmolzenen, aufgeschlossenen Kuchen. Anstatt der meist als Schmelzmittel üblichen Alkalien ist hier als Schmelzmittel Kalk angewendet worden und zwar zu dem Zweck, um Thon aufzuschließen. Und sowie beim Aufschließen von Thon durch Alkalien in der Menge des zuzusetzenden Schmelzmittels große Variationen möglich sind, so ist es auch beim Aufschließen der Thone durch Kalk. Alle so erhaltenen Producte geben bis zu außerordentlich wenig Thongehalt hinauf nach dem äußeren Ansehen der Stücke, nach der Farbe und Schwere des Pulvers ein Product, das man im Allgemeinen als Portlandcement bezeichnen könnte. Rein theoretisch und nur im Hinblick darauf, aufgeschlossenen, durch Säuren nun leicht vollkommen zerlegbaren Thon zu erhalten, sind alle diese Producte von analoger Bedeutung. Wird bei der Herstellung dieser Schmelzproducte ein bestimmter Gehalt an dem Schmelzmittel „Kalk" nicht unter- und nicht überschritten, so hat sich herausgestellt, daß dann diese Kalkthonschmelzkuchen den Wassermörtel abgeben, welchem allein wir dann aus der ganzen Gruppe heraus den specifischen Namen „Portlandcement" beilegen. Sind nun schon die Grenzen der Zusammensetzung, innerhalb deren die Masse noch als Portlandcement zu bezeichnen ist, nicht allzu eng, so können in der innerlichen Zusammensetzung noch außerdem, gerade wie beim Alkalithonschmelzkuchen, je nach der Zusammensetzung des Thons, ganz beträchtliche Verschiebungen in der relativen Menge und Art der Einzelbestandtheile stattfinden; beim Kalkthonschmelzkuchen sogar in noch umfangreicherem Grade, als hier ja oft auch der Kalk schon thonig ist, Abweichungen also nicht allein aus der Thonzusammensetzung sich herleiten. Das Auflösungsmittel für geschmolzenen Alkalisilicatkuchen ist Wasser, bezw. verdünnte Säure. Das Lösungsmittel für den in Rede stehenden Kalkthonschmelzkuchen, d. h. für den Portlandcement, ist Säure. Jedoch ist es ja allgemein bekannt, daß auch schon das Wasser die Zersetzung (die Dissociation) des geschmolzenen bezw. gesinterten Productes bewirkt, nur vermöge der Natur des vorliegenden Schmelzkuchens erst nach viel längerer Einwirkung, und beruht ja eben auf dieser langsamen Zerlegung des Schmelzproductes durch Wasser das, was man Erhärtung nennt. Die bei dieser Zerlegung sich ausscheidenden Substanzen sind zum großen Theile gelatinöser Natur, zudem fast sämmtlich fest oder ganz unlöslich und ferner durch die hohe specifische Dichte des ursprünglich unzerlegten Pulvers von vornherein auf eine außerordentlich geringe Raumeinnahme fixirt, ohne welche Localisirung sich jedes einzelne Cementtheilchen

erheblich voluminöser aus einander legen würde und wirken ja diese Umstände auf eine intensive und gegen Stoffentführung durch Wasser möglichst widerstandsfähige Verkittung hin.

Auf dem Wege der Erhärtung kann sich nun vielleicht ein Product von einem bestimmteren, enger begrenzten mineralischen Charakter durch Bildung von bislang ihrer Natur nach noch wenig aufgehellten Verbindungen bilden, und würden sich die einzelnen Producte nur vielleicht dadurch unterscheiden, daß die Menge des ursprünglichen Cementstoffes, welche in dem Mineral im Laufe der Erhärtung als zwischenlagernde Substanz niedergelegt wird, in den einzelnen Cementmörtelobjecten diverser Cemente je nach der Kalkhöhe ꝛc. des angewendeten Cementes variirt.

Der Portlandcement ist demnach nach Erdmenger's Anschauung als ein Kalkwasserglas zu betrachten, also als ein Wasserglas, in welchem das Alkali durch Kalk ersetzt ist. Die besondere Natur dieses Kalkwasserglases ist bestimmend für den Charakter der vor sich gehenden Erhärtungsweise. Die verkittenden Agentien werden hier durch Aufnahme, d. h. chemische Bindung, von Wasser ausgeschieden. Das Unlösliche und Gallertartige der sich ausscheidenden Substanzen, verbunden mit den durch die vorliegende Dichte des Cementkornes vorgeschriebenen (sehr comprimirend wirkenden) engen Raumverhältnissen sind die Ursachen der hohen Verkittungsfähigkeit bezw. Festigkeitserzielung. Den Charakter der einzelnen Substanzen hat der Portlandcement mit guten hydraulischen Kalken gemein, nicht aber die Dichte des Pulvers.

Erdmenger[1]) weist noch auf einen anderen Punkt hin, welcher die Annahme, daß der Portlandcement eine streng fixirte chemische Verbindung sei, schwer zur Geltung kommen lasse. Es ist nämlich bisher noch nicht gelungen, zwischen den chemischen Bestandtheilen des Portlandcementes und der zum Anmachen und späteren Erhärten nothwendigen Wassermenge eine bestimmte Beziehung im stöchiometrischen Sinne nachzuweisen. Findet auch in der Stärke der allmäligen, beim Erhärten erfolgenden Wasseraufnahme eine gewisse Gesetzmäßigkeit statt, darf die Wassermenge unter eine bestimmte Grenze ohne Beeinträchtigung der Festigkeit später auch nicht mehr herabgedrückt werden, so wechselt dieses sogenannte Erhärtungswasser doch noch zwischen ziemlich weiten Grenzen und ist im Allgemeinen um so geringer, je weniger Wasser beim Anmachen genommen, je dichter also der Mörtel gemacht und je dichter er in die Formen eingeschlagen wurde. Es ist eben nur soviel Wasser nöthig, daß ein gewisser plastischer Zustand entsteht. Von der gesammten Wassermenge kommt dann nur annähernd soviel auf jedes Cementtheilchen, als zur Umsetzung und Einleitung der Verkittung gegeben ist. Bei starkem Wasserzusatz wird ein großer Theil der Cementmasse zu rasch zerlegt, auch theilweise ausgelaugt und überdies aus einander geschwemmt werden, durch Aufschwemmen der verkittenden Stoffe wird aber die Festigkeit herabgestimmt, da es unzweifelhaft ist, daß die Verkittung um so vollkommener erfolgen wird, in je steiferem und derber plastischem Zustande die Masse gehalten werden kann. Daraus

---

1) Thonind.-Ztg. 1879, S. 179. Dingl. pol. J. 233, 227.

erhellt auch der Vorzug des Langsambindens zwischen Cementen, die im Uebrigen gleich guter Qualität sind.

Der Erhärtungsvorgang[1]) ist nach Erdmenger folgendermaßen aufzufassen. Das Portlandcementpulver nimmt Wasser auf, ganz wie gewöhnlicher Thon, um damit eine Art plastischer Masse zu bilden, so daß das Wasser wie beim Thon das Formbilden ermöglicht. Das Plastischwerden der Theilchen geschieht bei sehr hoher Feinheit sehr rasch, während bei niederer Feinheit die Wassereinwirkung zu dem Zwecke etwas länger andauern muß. Allein ebenso wie der Thon, nachdem seine Plasticität zur Formgebung benutzt ist, nunmehr austrocknen kann und dies sogar die Härte der geformten Stücke erhöht, ebenso kann aus einem Cementgußstück nach erfolgter (d. i. etwa nach einer Woche) Wasseraufnahme und nach Benutzung der damit erzielten Plasticität, das lediglich zur Plasticitätserzeugung benutzte Wasser verjagt werden, ohne daß deshalb die Festigkeit beeinträchtigt wird, vorausgesetzt, daß schädliche Einwirkungen, die durch das vorherige Austrocknen unter Umständen leichter Zutritt haben, abgehalten werden.

Die Cementmasse ist mithin in dem Zustande nach der Formung und der beginnenden Erhärtung wohl kaum als eine bestimmte wasserhaltige Verbindung zu betrachten, sondern vielmehr, wenn man eine Grundverbindung gelten lassen will, als gewässertes Kalksilicat, das deshalb gewässert ist, um die Masse formbar zu machen, bei der aber die Festigkeit auch bei der Vertreibung des Wassers vorhanden bleibt und nicht, wie z. B. bei erhärtetem Gyps, mit der Wassereinbuße verloren geht. Dies ist die Rolle des thonigen Bestandtheiles, mag man denselben lediglich als Kiesel- u. s. w. Gallerte betrachten oder als gewässertes Kalksilicat (nach Michaëlis[2]). Ob und wie viel diese Gallertsubstanz Kalk als zur Substanz untrennbar gehörig enthält, ist noch unbestimmt. Außer dieser gallertbildenden Substanz ist im Portlandcement viel freier Kalk enthalten. Brennt man Magnesia bis zur Weißgluth, so wird sie bekanntlich zunächst für Wassereinwirkung indifferent. Ganz dasselbe erreicht man mit Kalk, nur muß hier die Temperatur viel höher sein, nämlich etwa annähernd bis Platinschmelzhitze hinaufgehen. Der so erbrannte Kalk hat das specifische Gewicht und die zunächstige scheinbare Indifferenz gegen Wasser mit ganz langsam abbindendem Portlandcement gemein. Dadurch, daß dieser Kalk mit aufgeschlossener, d. h. zur Gallertbildung fähiger Kieselsäure zusammen hoher Temperatur ausgesetzt wird, genügt ein viel geringerer Hitzegrad zur Abstumpfung des Kalkes. Daß keine umfangreichere chemische Rolle von den Gallertbildnern hierbei gespielt werden kann, geht schon daraus hervor, daß bereits etwa 3 Proc. derselben genügen, um das Kalkpulver durchweg bei gewöhnlicher Portlandcementtemperatur abzustumpfen. Dieser durch so hohe Temperatur abgetödtete Kalk kann nun in so hoher specifischer Dichte bei gewöhnlicher Temperatur nicht bestehen. Er fängt allmälig an, in feinere Theilchen durch die innere Spannung zu zerfallen und sich aufzublähen.

---

[1]) Thonind.-Ztg. 1879, S. 454; 1880, S. 96 u. 160; 1881, S. 96, 228, 333, 340. Wagner's Jahresber. d. chem. Technologie 1880, S. 499 u. 1881, S. 541.
[2]) Töpfer- u. Ziegler-Ztg. 1880, S. 194.

Das ist ein rein mechanischer Vorgang in der Hauptsache, wenn auch der Einfluß der Feuchtigkeit den Anreiz zu dieser Umlagerung und Zersplitterung geben mag. Diesen Zertheilungs- und Quellungsproceß, und zwar einen in der Hauptsache trockenen Quellungsproceß, macht nun das Kalkpulver auch bei der Portlandcementerhärtung geltend. Die Gallerte kommt durch die Wasseransaugung zum Gerinnen, d. i. zum Abbinden. Das allmälig aufquellende, trockene, theilweise auch sich hydratisirende Kalkpulver knetet und drückt nun die Gallerte von allen Seiten zusammen, drängt sie so immer mehr dazu, alle Poren zu schließen und eine wachsend dichtere Verfilzung und damit eine geschlossenere, dichtere, steinartigere Masse zu bilden, welche Dichterwerdung man auch beim Brechen reiner Cementproben am Bruche besonders gut verfolgen kann.

F. Mertz[1]) denkt sich die Constitution des Portlandcementes folgendermaßen: Jedes physikalische Atom der Masse besteht aus einem Kern von Aetzkalk mit einer Hülle von aufgeschlossenem Thon bei erzielter Vollkommenheit. Je kleiner diese Atome sind und je hochkalkiger der Cement, desto dünner sind diese Hüllen und desto leichter zersetzlich durch Wasser ist die Masse und desto systematischer können sich die durch Einwirkung des Wassers sich abscheidenden Verkittungssubstanzen lagern, desto schneller muß also der Cement erhärten (sofern derselbe nicht treibt) unter sonst gleichen Umständen. Diese dünnen Hüllen, welche den Aetzkalk umschließen, sind als eine sehr lockere chemische Verbindung zu betrachten.

Das Wesen der Cementerhärtung suchte auch E. Landrin[2]) festzustellen. Er nennt die durch Zersetzen von Silicaten mit einer Säure abgeschiedene und bei Rothgluth getrocknete Kieselsäure hydraulische Kieselsäure. Diese soll die eigentliche Erhärtung der hydraulischen Mörtel bewirken. Sie entzieht dem Kalkwasser innerhalb weniger Tage soviel Kalk, daß die gebildete Masse dem Silicate $4 CaO . 3 SiO_2$ entspricht. Die aus der hydraulischen Kieselsäure mit Kalk entstehende Verbindung nennt Landrin „Puzzo-Portland“; sie ist der wesentliche Bestandtheil aller hydraulischen Mörtel.

Nach Le Chatelier[3]) beruht die Erhärtung des Cementes wie beim Gyps lediglich auf Krystallisation der gelösten Stoffe aus übersättigter Lösung.

Nach Dr. H. Frühling[4]), welcher sich ebenfalls im Allgemeinen der von Knapp ausgesprochenen Ansicht anschließt, ist der ganze Vorgang der Erhärtung der Cemente mehr als ein mechanischer, resp. physikalischer Proceß anzusehen. Er bestreitet, daß die Bildung von bestimmten Silicaten die Grundlage der Erhärtung sei. Welche Rollen die Kieselsäure und die Thonerde bei der Erhärtung ausfüllen, läßt sich wohl andeuten, aber durch präcise Experimente und durch chemische Formeln nicht nachweisen, namentlich nicht nachweisen, daß sich überhaupt Silicate nach der Erhärtung gebildet haben.

---

[1]) Thonind.-Ztg. 1881, S. 268.

[2]) Compt. rend. 96, 156, 379, 841 u. 1229. Wagner's Jahresber. d. chem. Technologie 1883, S. 648.

[3]) Compt. rend. 96, 1056.

[4]) Wagner's Jahresber. d. chem. Technologie 1883, S. 645.

Ein erhärteter Cement wirkt allgemein nur als ein dichtes Kalkhydrat, chemisch wie physikalisch. Es gelingt Niemandem, die wasserhaltigen Kalksilicate, welche in der Natur vorkommen und welche man als Typen der erhärtenden Substanzen der Mörtel angenommen hat, durch die Lösung eines Ammoniumsalzes zu zersetzen, während in der Regel der gesammte Kalkgehalt eines Cementmörtels, sei er aus Portland- oder Romancement hergestellt, direct zersetzend, dem Kalkhydrate ähnlich, auf die Ammoniumsalzlösungen einwirkt.

Bei der Cementfabrikation geht man nicht darauf aus, die größtmöglichste Menge von Kieselsäure, sondern die größtmöglichste Menge von Kalk in die Cementmischung hineinzubringen. Ueberschreitet man die Grenze in der Weise, daß man 3 bis 4 Proc. Kieselsäure mehr, als erfahrungsmäßig nöthig ist, in die Mischung bringt, dann bekommt man nicht etwa einen besser erhärtenden Cement, sondern ein fast werthloses, zerfallenes Pulver aus den Oefen. Das ganze Bestreben der Technik beruht auf dem Grundsatze, so viel als möglich Kalk in die Mischung zu bringen, diesen aber in solcher Weise zu binden, daß die Hydratbildung ohne Volumvergrößerung der Masse stattfindet. Das Kalkhydrat ist die Grundlage der verkittenden Eigenschaft der Cemente, die Kieselsäure und die Thonerde spielen im Verhältniß zur Kalkerde nur eine untergeordnete Rolle. Es sind Stoffe, welche bewirken, daß die Hydratbildung nicht plötzlich mit Volumvergrößerung, sondern nur allmälig stattfindet.

Als Beweis hierfür werden von Frühling nachstehende Versuche angegeben. Er hat frisch gebrannten Rüdersdorfer Kalk und auch frisch gebrannten Marmor pulverisirt und in die bekannte Normalform eingefüllt, mit der hydraulischen Presse comprimirt und bei einem Drucke von 20 bis 25 kg pro Quadratcentimeter acht Tage unter Wasser gehalten. Das erhärtete Mörtelstück kam scharfkantig aus der Form und zeigte 48 kg per Quadratcentimeter Zugfestigkeit, also annähernd eine solche, welche man bei guten Portlandcementen nachweist. Die Bruchstücke der erhärteten und im Apparate gerissenen Probeziegel blieben unter Wasser aufbewahrt. Nach einigen Monaten waren diese Stücke äußerlich vom Wasser angegriffen; es zeigten sich auch Spuren von einer tiefer eingehenden Auflockerung des Gefüges.

In gleicher Weise verhalten sich die sogenannten selenitischen Cemente; diese mit Gyps erzeugten Kalke sind in Wasser zu sehr löslich, ebenso wie das reine Kalkhydrat. Die Festigkeit solcher Mörtel ist leicht den besten Cementen gleich zu erzielen, die Wasserbeständigkeit aber nicht. Hierzu wirken eben die Kieselsäure, die Thonerde und das Eisenoxyd in einer augenblicklich noch nicht ganz anschaulich zu erklärenden Weise mit und behalten als Componenten der hydraulischen Mörtel ihre Werthe, aber wesentliche, die Erhärtung und Festigkeit bedingende Factoren sind sie nicht. Fast alle mineralischen Salze und Oxyde, welche Hydrate bilden, dabei schwer aber doch wesentlich löslich in Wasser sind, können in plastischer Form zu hydraulischen Mörteln hergerichtet werden. Am klarsten zeigt sich diese Eigenschaft an dem Magnesiumoxyde.

Ein gewisser Grad chemischer Affinität der Kieselsäure zum Kalk ist vorhanden; sehr groß kann derselbe nicht sein, denn wie selten sind verhältnißmäßig krystallisirte wasserhaltige Mineralien aus Kieselsäure und Kalk, während die

die Natur beide Stoffe überall zusammengewürfelt hat. Die Wirkung der Kieselsäure ist viel mehr eine verändernde auf das Calciumoxyd beim Brennen der Mischung, als daß dieselbe später beim Erhärten bestimmte Verbindungen eingeht, sie kann sehr gut durch Eisenoxyd und auch durch andere Oxyde ersetzt werden. Ein Kalkcement, d. h. ein abbindender, erstarrender Cement, welchen man nach dem Abbinden ohne Gefahr des Zerfallens unter Wasser versenken kann, ist wohl ohne Kieselsäure, aber nicht ohne Thonerde herzustellen.

Die Eigenschaft der Thonerde, mit Calciumoxyd unter Mitwirkung des Wassers eine erstarrende Masse zu bilden, ist so groß, daß man einen zum Gießen flüssigen Kalkbrei durch verhältnißmäßig wenig Thonerdehydrat zum Erstarren bringen kann, so daß die Mischung, sofort unter Wasser versenkt, in diesem sich unverändert hält und erhärtet. Solche lockere, erstarrte Pasten, welche bis zu 60 Proc. Wasser enthalten, trocknen an der Luft ein und zerklüften.

Ein schnelles Abbinden, Erstarren, beobachtet man vorzüglich auch bei denjenigen Romancementen, welche reich an Thonerde sind.

Man sieht daher, daß alle bisher ausgeführten Untersuchungen noch nicht im Stande gewesen sind, ein vollständig klares Bild über die Constitution und die Erhärtung der Cemente zu geben, und daß es, wie Knapp bemerkt, zur Zeit nicht viel weniger Theorien als Autoren giebt; namentlich gilt dieses für den Portlandcement. Der Grund für diese Meinungsverschiedenheit liegt wohl zum größten Theil darin, daß, wie Knapp in seiner oben citirten Abhandlung hervorhebt, die meisten Forscher einseitig nur die bei der Erhärtung der Cemente obwaltenden chemischen Processe zu ermitteln suchten, und dabei auf den gleichzeitig wirkenden mechanischen Proceß keine Rücksicht genommen haben.

f) Prüfung und Beurtheilung der Cemente.

Bei der hohen Bedeutung der Wassermörtel, namentlich der Portlandcemente, im Bauwesen und bei den sehr verschiedenen Eigenschaften derselben fühlte man schon seit langer Zeit das Bedürfniß einer richtigen und zuverlässigen Prüfungsmethode, um einestheils eine gerechte Werthstellung der verschiedenen Fabrikate möglich zu machen und anderentheils um überflüssige und übertriebene Anforderungen zu verhüten.

Eine Prüfung zur Werthbestimmung eines Cementes[1]) kann je nach dem beabsichtigten Zwecke nach zwei wesentlich verschiedenen Richtungen hin vorgenommen werden; sie kann entweder eine eingehende sein unter Mithülfe aller von der Wissenschaft und der Praxis gebotenen Mittel, so daß man dadurch über alle Eigenschaften des Cementes Aufschluß erhält, oder sie kann eine einfachere, praktische Untersuchung sein, welche in möglichst kurzer Zeit, jedoch auch zuverlässig genug, ausgeführt werden kann, um dadurch in möglichst kürzester Zeit die werthvollsten Eigenschaften eines Cementes kennen zu

[1]) Dyckerhoff, Notizbl. d. deutschen Ver. f. Fabrik. v. Ziegeln 2c. 1876, S. 313.

lernen. Die erstere Art der Werthbestimmung erfordert neben gründlichster Sachkenntniß des Untersuchenden vor Allem viel Zeit, nicht nur Monate, sondern Jahre, und hat deswegen für die Baupraxis im Allgemeinen keinen Werth. Für letztere ist nur die zweite Art der Prüfung anwendbar, welche gestattet, in möglichst kurzer Zeit ein Urtheil zu gewinnen. Wie dieselbe ausgeführt wird, soll zunächst besprochen werden, woran sich dann anschließt die Beschreibung der Methoden zu einer eingehenderen Prüfung der Cemente.

Das Bedürfniß nach einer einfachen Controlprobe für die Cemente hatte sich schon lange in Frankreich, England und auch in Deutschland geltend gemacht, und es wurden auch zur Ausführung derselben mehrere Prüfungsmethoden angegeben und mehr oder weniger benutzt; aber die meisten derselben waren theils zu zeitraubend, theils unzuverlässig, und führten zu keinen übereinstimmenden Resultaten.

In der neuesten Zeit hat man nun erkannt, daß alle werthvollen Eigenschaften der Cemente in der Festigkeit und Bindekraft derselben zum Ausdrucke kommen und daß daher der einzige Weg für eine zuverlässige Prüfung des Cementes die Festigkeits- und Bindekraftermittelung sei; in Folge dessen war man auch bestrebt, diese Prüfung in einer einfachen zuverlässigen Weise auszuführen.

Eigentlich sollte man die Cemente vorzugsweise auf Druckfestigkeit prüfen, da es bei unseren Bauten fast ausschließlich nur auf die Druckfestigkeit ankommt; in öffentlichen Prüfungsanstalten und in den Cementfabriken, wo man eingehendere Untersuchungen ausführt, geschieht dieses auch öfters; aber die zum Zerdrücken der Probeobjecte nöthigen Pressen sind theuer und meistens umfangreiche Apparate, so daß deren Anschaffung von Bautechnikern, welche die Prüfung selbst vornehmen wollen, selten geschieht. Man hat sich daher bei der praktischen Prüfung von Cement für die Bestimmung der Zugfestigkeit entschieden, weil diese mit weniger Arbeit und einfacheren Apparaten auf leichte Weise genügend sicher gefunden werden kann.

Nach dieser Richtung hin sind schon im Jahre 1858 von dem Ingenieur Joh. Grant in London exakte und systematisch fortgesetzte Versuche über die Festigkeit des zu seinen Bauten verwendeten Cementes begonnen und später veröffentlicht worden. In Deutschland war es namentlich Dr. W. Michaëlis, der diese Prüfungsmethode ausgebildet hat.

Dr. W. Michaëlis erhielt in der XI. Generalversammlung des Deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln, Thonwaaren, Kalk und Cement (1875) den Auftrag, über den Modus der Festigkeitsbestimmung und im Anschluß daran über die Methode der allgemeinen Werthermittelung des Portlandcementes Regeln und Motive aufzustellen, um dann nach eingehender Prüfung Seitens aller Interessenten, insbesondere auch der Architekten und Ingenieure, Normalbestimmungen zu vereinbaren über die Prüfung und Beurtheilung des Cementes [1]).

---

[1]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabr. v. Ziegeln 2c. 1875, S. 85.

Dr. Michaëlis unterzog sich dieser ehrenden Aufgabe mit großem Fleiß und großer Mühe und veröffentlichte als Resultat seiner Studien eine ausführlich motivirte Arbeit, „Beurtheilung des Cementes“, in welcher er 17 Thesen aufstellte[1]).

Bei der Berathung der von Michaëlis aufgestellten Thesen in der 12. Generalversammlung des bezeichneten Vereins 1876[2]) wurde dann eine Commission gewählt, mit dem Auftrage, in Gemeinschaft mit Abgeordneten aus dem Berliner Architektenverein und Berliner Baumarkt Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandcement auszuarbeiten. Das Resultat der Commissionsberathungen wurde in sechs Resolutionen nebst begleitenden Motiven und Erklärungen zusammengefaßt, welche den erwähnten drei Auftrag gebenden Vereinen zur Sanctionirung vorgelegt wurden. Die Resolutionen wurden zunächst in einer Specialversammlung von 23 in Berlin anwesenden Cementfabrikanten, welche sich damals zu einem Verein constituirten, zur Berathung vorgelegt und nach längerer Debatte mit 20 gegen 3 Stimmen angenommen[3]). Dieselben fanden dann auch in der XIII. Generalversammlung des Deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln ꝛc. 1877 mit 46 gegen 9 Stimmen Annahme[4]), ebenso wurde denselben von dem Berliner Architektenvereine mit großer Majorität und vom Berliner Baumarkt einstimmig zugestimmt.

Bevor wir näher auf die festgestellten Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandcement eingehen, sei noch bemerkt, daß in der zur Bearbeitung dieser Normen gewählten Commission nicht volle Einstimmigkeit herrschte und daß gegen die von Dr. Michaëlis aufgestellten Thesen verschiedene Einwendungen vorgebracht wurden; namentlich gingen über die anzuwendende Methode der Untersuchung, über die Erhärtungsdauer der Probekörper und über die festzustellende Minimalzugfestigkeit die Ansichten sehr auseinander.

In Nachstehendem wollen wir diese abweichenden Ansichten näher auseinandersetzen, indem dieses jedenfalls zur richtigen Beurtheilung der von der Commission angenommenen Prüfungsmethode beitragen wird.

Dr. Michaëlis[5]) war bemüht, die 7-Tagsprobe mit reinem Cement als die entscheidende einzuführen. Für eine eingehende, genaue, ausgedehnte und gründliche Prüfung sei allerdings ein Zeitraum von drei Monaten die geringste Dauer, welche zulässig erscheint, ein Jahr sei entschieden empfehlenswerth. Dagegen ist für Controlproben eines bekannten Materials die 7-Tagsprobe vollständig genügend und maßgebend für die Güte eines Cementes, ganz besonders auch aus Zweckmäßigkeitsgründen, um nämlich hinreichend schnell über die Qualität genügend unterrichtet zu sein; wo nicht ein sehr scharfes, unbedingt sicheres Resultat gefordert wird, da reicht sie überall aus, wofern man es nicht mit Cementen zu thun hat, welche unter Zuschlag von Flußspath oder fluorhaltigen Stoffen erzeugt wurden, weil bei diesen nach erstem vorzüglichem Erhärten ein Rückschritt eintritt, so zwar, daß solche Cemente selbst

---

[1]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabr. v. Ziegeln ꝛc. 1875, S. 229. — [2]) Ebend. 1876, S. 79. — [3]) Ebend. 1877, S. 85. — [4]) Ebend. 1877, S. 71. — [5]) Ebend. 1875, S. 232.

bis zu 3 bis 4 Monaten sehr gut vorangehen, dann aber dauernd schwächer werden, oft bis zu gänzlichem Zerfallen.

Ein Cement, welcher daher nach 7 Tagen Erhärtung — 1 Tag in Luft, dann 6 Tage unter Wasser erhärtet und erst geprüft — eine hohe Festigkeit besitzt und mit der dreifachen Gewichtsmenge Sand etwa 20 Proc. der Festigkeit des reinen Cementes ausweist, darf ohne Bedenken — obige Ausnahmen gemacht — als gut erachtet werden und für um so besser, je höher diese Festigkeit selbst ist und je mehr die Stärke des Sandmörtels sich über 20 Proc. von der des reinen Cementes erhebt.

Auch Dr. E. Heintzel erkannte die Richtigkeit des von Michaëlis ausgesprochenen Satzes an, daß nämlich die Erhärtungsfähigkeit eines Cementes beurtheilt werden könne nach der absoluten Festigkeit, welche ein Zugstück nach Ablauf der ersten 7 Tage erlangt hat [1]).

Gegen die 7tägige Prüfung von reinem Cement wurden Einwendungen erhoben und geltend gemacht, daß nur eine 28tägige Prüfungszeit anzunehmen sei, und daß sich die Prüfung nicht allein auf Probestücke aus reinem Cement beschränken darf, sondern daß Mischungen mit hohem Sandzusatz zur Prüfung gelangen sollen, denn nur dadurch komme der eigentliche Werth eines Cementes zum besseren Ausdruck. Diese Ansicht wurde namentlich von Dyckerhoff [2]) (Amöneburg) ausführlich begründet, indem er zunächst hervorhebt, daß die 28-Tagsprobe nur allein maßgebend sein kann, indem sich aus zahlreichen Versuchen verschiedener Commissionsmitglieder und aus den Resultaten vieler Versuchsstellen ergeben hat, daß die Erhärtung bei verschiedenen Cementen mehr oder weniger rasch vor sich geht, d. h. ein Cement, welcher nach 7 Tagen ein geringeres Bruchgewicht liefert als ein anderer, kann diesen schon nach einigen Wochen wesentlich übertreffen.

Diese Thatsache, daß sehr gute Cemente bei der 7-Tagsprobe im reinen Zustande anderen Cementen nachstehen, letztere aber später übertreffen, hat auch den Ingenieur John Grant in London veranlaßt, von seinem früheren Usus, die Festigkeit der 7-Tagsprobe als maßgebend zu betrachten, abzugehen und jetzt die Festigkeit, welche die 28-Tagsprobe nachweist, als maßgebend anzunehmen; er läßt dabei die 7-Tagsprobe nur nebenher noch ausführen.

Zu demselben Resultate kam auch der Ingenieur Chs. Colson [3]), wie aus der nachfolgenden Tabelle zu ersehen ist; die Zahlen, welche bei der Prüfung von fünf verschiedenen Cementen nach 7 Tagen, 2, 6 und 12 Monaten erhalten wurden, geben die Zerreißungsgewichte in englischen Pfunden per 2¼ Quadratzoll englisch Querschnitt der Probekörper (= 1 kg auf 1 qcm) an der Bruchfläche an.

---

1) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrik. v. Ziegeln ꝛc. 1875, S. 357.
2) Ebend. 1876, S. 315.
3) Experiments on the Portland Cement used in the Portsmouth Dockyard extension works. London by William Clowes et Sons.

Cementsorte	7 Tage		2 Monate		6 Monate		12 Monate	
	Pfund	kg	Pfund	kg	Pfund	kg	Pfund	kg
Booth & Co.	1000	31,2	985	30,8	947	29,6	1241	38,8
Burham Comp.	959	30,0	1099	34,3	1102	34,4	1245	38,9
Wouldham Comp. . . .	836	26,1	1194	37,3	1467	45,8	1488	46,5
Hooper & Ashby . . .	589	18,4	1050	32,8	1227	38,3	1500	46,9
Francis & Co.	604	18,9	1241	38,8	1492	46,6	1762	55,1

Aus diesen Zahlen ergiebt sich, daß die nach 7 Tagen am wenigsten Festigkeit zeigenden Cemente schließlich die höchste Festigkeit erlangt hatten.

Auch aus den Versuchen von Dyckerhoff folgt ebenfalls, daß die 7-Tagsprobe beim Vergleiche verschiedener Cemente zu sehr irrigen Schlüssen führen kann. Folgende Tabelle zeigt die Bruchgewichte (1 kg auf 1 qcm) verschiedener renommirter deutscher und englischer Portlandcemente nach 7 Tagen, 2, 4 und 12 Wochen. Die Probekörper von 5 qcm Querschnitt der Bruchfläche sind nach der Michaëlis'schen Methode auf der Gypsplatte angefertigt und mit dem Zerreißungsapparate von Frühling, Michaëlis u. Co. geprüft.

Cementsorte	Bindezeit in Minuten	1 Liter wiegt Gramm	Siebrückstände		7 Tage	2 Wochen	4 Wochen	12 Wochen
			900 Maschen pr. qcm	400 Maschen pr. qcm				
I.	420	1201	13,7	6,5	39,6	43,9	45,2	45,9
II.	240	1370	29,2	19,7	35,0	41,9	43,7	37,2
III.	480	1303	12,5	5,2	34,2	43,8	45,9	42,6
IV.	200	1250	nicht bestimmt	3,0	30,5	34,0	44,1	46,9
V.	150	1315	11,3	3,7	26,9	34,7	41,4	43,8
VI.	180	1292	13,3	5,5	26,7	33,6	36,0	43,8
VII.	35	1342	10,3	2,5	24,7	nicht geprüft	31,8	44,9

Diese Zahlen lassen ersehen, daß der Cement I., welcher nach der 7-Tagsprobe sich als der beste darstellt, durch den um 9 kg geringeren Cement IV. nach 12 Wochen schon übertroffen wird, und daß die Cemente IV. bis VII., welche sämmtlich nach 7 Tagen niedrigere Bruchgewichte zeigen, als die Cemente I. bis III., diesen letzteren nach 12 Wochen in der Festigkeit gleichkommen oder dieselben übertreffen.

Wenn nun auch hiernach die 28-Tagsprobe entsprechender als die 7-Tagsprobe erscheint, so kann doch selbst aus dieser mit reinem Cement vor-

genommenen Untersuchung kein zuverlässiger Rückschluß gezogen werden auf den Grad der Bindefähigkeit verschiedener Cemente zu Sand.

Auf die Bindefähigkeit zu Sand und Stein ist aber gerade das größte Gewicht zu legen, denn da Portlandcement fast nie rein angewandt wird, so ist auch die Festigkeit des reinen Cementes für den Consumenten von untergeordnetem Werthe, denn von verschiedenen Cementen ist (alle sonstigen erforderlichen Eigenschaften, als Dauerhaftigkeit, Volumbeständigkeit ꝛc. vorausgesetzt) derjenige der werthvollste, welcher den meisten Sandzusatz verträgt, oder mit anderen Worten derjenige, welcher bei gegebenem Sandzusatz das höchste Bruchgewicht liefert.

Wie fehl man aber greifen würde, wollte man aus der Festigkeit von Cement in reinem Zustande auf die Bindefähigkeit zu Sand schließen, geht aus folgender Tabelle hervor, in welcher einige der besten deutschen und englischen Portlandcemente in Bezug auf ihre Festigkeit im reinen Zustande und mit 4 Volumthln. Sand nach 7 Tagen, 2, 4 und 12 Wochen unter einander verglichen sind; die Probekörper wurden ebenfalls nach der Michaëlis'schen Methode auf der absaugenden Gypsplatte angefertigt. Der angewandte Sand war Flußsand, der ein Sieb von 50 Maschen pro Quadratcentimeter passirt hatte, und enthielt noch 48 Proc. feine und staubförmige Theilchen, welche durch ein Sieb von 200 Maschen per Quadratcentimeter gingen. Die Tabelle giebt die Festigkeit in Kilogrammen per Quadratcentimeter an. Zur besseren Charakteristik ist für jeden Cement auch die Bindezeit, das Gewicht eines Liters und der Siebrückstand bei 900 und bei 400 Maschen per Quadratcentimeter angegeben.

Cementsorte	Bindezeit in Minuten	1 Liter wiegt Gramm	Siebrückstand bei 900 Maschen p. qcm	Siebrückstand bei 400 Maschen p. qcm	1 Woche Reiner Cement	1 Woche 4 Thle. Sand	2 Wochen Reiner Cement	2 Wochen 4 Thle. Sand	4 Wochen Reiner Cement	4 Wochen 4 Thle. Sand	12 Wochen Reiner Cement	12 Wochen 4 Thle. Sand
A.	420	1201	13,7	6,5	39,6	4,2	43,9	6,6	45,2	7,6	45,9	8,3
B.	240	1370	29,2	19,7	35,0	3,9	41,9	6,4	43,7	7,7	37,2	8,0
C.	480	1303	12,5	5,2	34,2	4,2	43,8	6,9	45,9	7,5	42,6	8,7
D.	150	1315	11,3	3,7	26,9	4,0	34,7	8,3	41,4	9,2	43,8	11,9
E.	180	1292	13,3	5,5	26,7	4,2	33,6	7,2	36,0	7,8	43,8	10,8
F.	10	1171	19,2	12,8	21,9	4,2	24,3	5,8	35,3	7,3	24,2	8,6
G.	25	1326	18,5	9,7	18,8	4,5	22,7	6,9	20,9	8,7	28,9	8,9

Bei der Vergleichung dieser Zahlen ergiebt sich auf das Bestimmteste, daß Cemente, welche im reinen Zustande eine sehr hohe Festigkeit zeigen, von anderen anscheinend geringeren Cementen hinsichtlich ihrer Bindekraft zu Sand übertroffen

werden können. Man wird nicht in Zweifel sein, daß die Cemente D., E., F. und G., obgleich sie, rein geprüft, wesentlich geringer erscheinen, mindestens ebenso werthvoll sind, als die Cemente A., B. und C., denn bei Zusatz von 4 Thln. Sand ergeben sie höhere Bruchgewichte.

Nach Dyckerhoff ist daher, entgegen den Angaben von Michaëlis, für die Prüfung von Portlandcement eine Controlprobe mit Sand nach 28 Tagen nur allein maßgebend und zwar eine solche mit hohem Sandzusatz, da dann der eigentliche Werth eines Cementes um so besser zum Ausdruck gelangt; bei 1 und 2 Thln. Sandzusatz mögen sich zwei Cemente noch nahezu gleich stehen, bei mehr Sandzusatz dagegen können schon wesentliche Differenzen zu Tage treten. Eine solche Prüfung würde den Anforderungen, welche an eine verläßliche Controlprobe zu stellen ist, am besten entsprechen. Zur Controlirung der Gleichmäßigkeit der Güte eines und desselben Cementes wird jedoch die 7-Tagsprobe benutzt werden können.

In gleicher Weise führt auch Schiffner aus, daß die Festigkeit des reinen Cementes nach 7 Tagen keinen sicheren Maßstab für die Erhärtungsfähigkeit des Cementes im reinen Zustande, viel weniger noch der Bindefähigkeit desselben zu Sand abgebe[1]).

Einer der wesentlichsten Punkte bei Ausführung der Prüfung ist die Anfertigung der Probekörper; Michaëlis[2]) empfahl, dieselben auf einer absaugenden Unterlage aus Gyps oder schwach gebrannten Ziegelsteinen anzufertigen, wobei die Probestücke als verhältnißmäßig dünner Mörtel in die Form gefüllt werden. Michaëlis nahm dabei an, daß es bei Cementen, welche innerhalb kürzester Frist, also in fünf Minuten, nicht abbinden, ganz gleichgültig ist für das Endresultat, ob dieselben mit 30 oder 50 Gewichtsthln. Wasser auf 100 Gewichtsthle. Cement angemacht sind, weil die Formen sich auf einer absaugenden Unterlage befinden, ein Ueberschuß an Wasser, welcher den Cement schwimmend erhält, also in kürzester Frist aufgesogen wird. Die dichte Lagerung des Mörtels und das Entweichen eingeschlossener Luftblasen wird durch leise Rüttelung der Form, resp. Erschütterung derselben durch leichte Schläge gegen dieselbe bewirkt und befördert.

Auch hiergegen wurden Einwendungen gemacht. Zunächst wurde von Dr. Heintzel[3]) constatirt, daß die Annahme von Dr. Michaëlis eine irrige sei, daß vielmehr beim Gebrauch der absaugenden Unterlage der Wasserzusatz einen sehr großen Einfluß ausübe und daß auch hier der alte Erfahrungssatz seine Anwendung findet: Je weniger Wasser, je dichter der Mörtel, je höher die Festigkeit, was auch durch folgende Versuche seine Bestätigung findet:

1. Marke A.; 1 hl (lose eingeschüttet) wog 140 kg; Rückstand auf dem 900-Maschensieb 22 Proc.; Abbindezeit 4 Stunden.

Dünn angemacht, nach 7 Tagen pro qcm . . .	34,4 kg
Dick „ „ 7 „ „ „ . . .	42,2 „

[1]) Thonind.-Ztg. 1877, S. 110. Dingl. pol. J. 225, 568. — [2]) Notizblatt d. deutschen Ver. f. Fabr. v. Ziegeln &c. 1875, S. 87, 252 u. 258. — [3]) Ebend. 1876, S. 199.

2. Marke A.; 1 hl wog 135,5 kg; Rückstand auf dem 900-Maschensieb 10 Proc.; Abbindezeit über 4 Stunden.

100	Gewthle.	Cement;	50	Gewthle.	Wasser,	nach	7	Tagen	pro	qcm	31,5 kg
100	„	„	40	„	„	„	7	„	„	„	33,5 „
100	„	„	30	„	„	„	7	„	„	„	38,1 „
100	„	„	25	„	„	„	7	„	„	„	39,6 „

3. Marke B.; 1 hl wog 147,5 kg; Rückstand auf dem 900-Maschensieb 3 Proc.; Abbindezeit 4 bis 5 Stunden.

100	Gewthle.	Cement;	50	Gewthle.	Wasser,	nach	7	Tagen	pro	qcm	21,6 kg
100	„	„	40	„	„	„	7	„	„	„	34,8 „
100	„	„	30	„	„	„	7	„	„	„	41,2 „
100	„	„	25	„	„	„	7	„	„	„	45,3 „

Zu diesen Versuchen wurden als aufsaugendes Medium poröse, frische Ziegelsteine verwendet.

Aus diesen Angaben ist daher deutlich zu ersehen, daß durch Nichteinhalten eines genauen Verhältnisses zwischen Cement und Wasser sehr leicht die Prüfungsobjecte „individueller Natur“ werden können.

Nach Dyckerhoff[1]) hat die Absaugemethode noch andere große Mißstände. So besteht ein Uebelstand derselben darin, daß Gypsplatten oder Backsteine keine sich gleich bleibenden Materialien sind, wie sie eine exacte Prüfungsmethode erfordert. In Folge der Wasserabsorption und des Absetzens von Cementtheilchen auf der Oberfläche vermindert sich die Wirksamkeit der Platten; sie müssen getrocknet und von Zeit zu Zeit abgehobelt werden, wobei es fraglich bleibt, ob die so hergerichteten Platten stets eine gleich starke Wirksamkeit haben werden.

Der am schwersten wiegende Fehler der Absaugemethode ist nach Dyckerhoff jedoch der, daß die Bindezeit des Cementes die Festigkeitsresultate in einer Weise beeinflußt, daß man zu falschen Schlüssen gelangen muß, so zwar, daß sehr langsam bindende Cemente zu günstig, rasch bindende zu ungünstig beurtheilt werden. Findet die Anfertigung der Probekörper auf absaugender Unterlage statt, so leuchtet ein, daß durch Wasserabsorption von Seite der Unterlage Raum für mehr Cementmasse geschaffen wird, daß also, auch ohne weiteres Zuthun des Operirenden, die Formen mehr Cement aufnehmen werden als bei undurchlässiger Unterlage, durch die eine Wegnahme von Wasser nicht stattfindet. Die Probekörper werden also schwerer und vor Allem dichter ausfallen, und kommt dann noch das Klopfen an die Formen hinzu, so wird dadurch die Dichtigkeit und somit das Bruchgewicht ganz bedeutend erhöht.

Nun liegt es aber in der Natur sehr langsamer, z. B. in mehreren Stunden erst abbindender Cemente, eben weil sie langsam erstarren, mehr Wasser als andere Cemente abzugeben, mithin sich dichter abzulagern und dadurch ungemein hohe Bruchgewichte zu liefern. Bei Cementen von $1/2$ bis 1 Stunde Bindezeit ist dies schon weit weniger der Fall und rasche Cemente gerathen in Folge des

[1]) Deutsche Bauzeitung 1877, Nr. 38.

rascher Erstarrens derart in Nachtheil, daß dieselben nach der Absaugemethode sogar niedrigere Bruchgewichte liefern können, als bei Anwendung einer undurchlässigen Unterlage von Metall oder Stein.

Es ist daher einleuchtend, daß die Absaugemethode nur zur Beurtheilung eines und desselben bekannten Fabrikates und bei der Prüfung durch dieselbe Hand, nicht aber zur Vergleichung verschiedener, namentlich in der Bindezeit stark differirender Cemente verwendbar ist.

Alle nach der Absaugemethode erhaltenen Festigkeitszahlen fallen wesentlich höher aus als bei Anwendung undurchlässiger Unterlagen. Die Aufgabe einer einheitlichen Prüfungsmethode kann aber nicht darin bestehen, sehr hohe Festigkeitszahlen zu liefern, sondern vielmehr bei einem und demselben Cement allenthalben gleichmäßige und beim Vergleich verschiedener Cemente solche Resultate aufzuweisen, welche der Bindefähigkeit und sonach dem Werthe der Waare entsprechen. Die in den Normen vorgeschriebene Prüfungsweise erfüllt daher diesen Zweck weit besser.

Zur Begutachtung der nach den Beschlüssen des Berliner Architektenvereins, des Berliner Baumarktes, dann des Vereins deutscher Cementfabrikanten und des deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln &c. im Jahre 1877 endgültig aufgestellten Normen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandcement wurde von dem königlich preußischen Minister für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten eine Commission eingesetzt. Das Resultat der eingehenden Verhandlungen dieser Commission war, daß verschiedene Aenderungen und Verbesserungen vorgenommen wurden, daß aber die ursprünglichen Normen in allen wesentlichen Punkten unverändert stehen blieben. Mittelst Erlaß des königlich preußischen Ministeriums für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten, vom 10. November 1878, wurden diese revidirten Normen anerkannt und auch die Anwendung derselben bei Lieferung von Cement für Staatsbauten verfügt. Auch vom königlich preußischen Kriegsministerium wurden diese Normen unterm 4. September 1880 eingeführt und dieselben haben demgemäß künftighin auch bei allen Militärbauten Geltung. Dieselben lauten[1]):

I.

Das Gewicht der Tonnen und Säcke, in welchen Portlandcement in den Handel gebracht wird, soll ein einheitliches sein; es sollen nur Normaltonnen von 180 kg Brutto und 170 kg Netto, halbe Tonnen von 90 kg Brutto und 83 kg Netto, sowie Säcke von 60 kg Bruttogewicht von den Fabriken gepackt werden.

Streuverlust, sowie etwaige Schwankungen im Einzelgewicht können bis zu 2 Proc. nicht beanstandet werden.

Die Tonnen und Säcke sollen die Firma der betreffenden Fabrik und die Bezeichnung des Bruttogewichtes mit deutlicher Schrift tragen.

---

[1]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrikation von Ziegeln &c. 1878, S. 310.

Motive zu I.

Ein einheitliches Gewicht der im Handel vorkommenden Tonnen und Säcke existirt bis jetzt nicht. Während die norddeutschen Fabriken Tonnen sowohl von 200 kg als auch solche von 180 kg packen, haben die Tonnen der west- und süddeutschen, sowie die der meisten englischen Fabriken ein Gewicht von 180 kg Brutto; es kommen indeß auch noch leichtere Tonnen, namentlich im Kleinverkehr beim Wiederverkauf vor. Da nun der Preis per Tonne gestellt wird, so ist die Einführung eines einheitlichen Gewichts im Interesse der Consumenten und des reellen Geschäfts dringend geboten. — Hierzu ist das weitaus gebräuchlichste und im internationalen Verkehr fast ausschließlich geltende Gewicht von 180 kg Brutto = ca. 400 Pfd. englisch gewählt worden.

Nachdem die wesentlich billigere Verpackung in Säcken sich seit einer Reihe von Jahren in Süddeutschland, Holland, Belgien, England u. s. w. für sehr viele Fälle als durchaus genügend erwiesen hat, ist diese Verpackungsweise wegen der großen, für den Consumenten zu erzielenden Ersparniß, namentlich für größere Lieferungen, ganz besonders zu empfehlen. Für das zur einheitlichen Einführung zu bringende Gewicht von 1 Sack wurde 60 kg als das geeignetste befunden weil ein solches Gewicht mit Leichtigkeit zu transportiren ist und weil dann das Bruttogewicht von 3 Säcken dem von 1 Tonne entspricht.

II.

Je nach der Art der Verwendung ist Portlandcement langsam oder rasch bindend zu verlangen.

Für die meisten Zwecke kann langsam bindender Cement angewandt werden, und es ist diesem dann wegen der leichteren und zuverlässigeren Verarbeitung und wegen seiner höheren Bindekraft der Vorzug zu geben.

Als langsam bindend sind solche Cemente zu bezeichnen, welche in einer halben Stunde oder in längerer Zeit erst abbinden.

Erklärungen zu II.

Um die Bindezeit eines Cementes zu ermitteln, rühre man den reinen Cement mit Wasser zu einem steifen Brei an und bilde auf einer Glas- oder Metallplatte einen etwa 1,5 cm dicken, nach den Rändern hin dünn auslaufenden Kuchen. Sobald der Kuchen soweit erstarrt ist, daß derselbe einem leichten Druck mit dem Fingernagel oder mit einem Spatel widersteht, ist der Cement als abgebunden zu betrachten.

Da das Abbinden von Cement durch die Temperatur der Luft und des zur Verwendung gelangenden Wassers beeinflußt wird, insofern höhere Temperatur dasselbe beschleunigt, niedere Temperatur es dagegen verzögert, so sollten die Versuche, um zu übereinstimmenden Resultaten zu gelangen, bei einer mittleren Temperatur des Wassers und der Luft von etwa 15 bis 18° C. vorgenommen,

oder, wo dieses nicht angängig, die jeweiligen Temperaturverhältnisse immer in Berücksichtigung gezogen werden.

Während des Abbindens darf langsam bindender Cement sich nicht wesentlich erwärmen, wohingegen rasch bindende Cemente eine merkliche Temperaturerhöhung aufweisen können.

Portlandcement wird durch längeres Lagern langsamer bindend und gewinnt bei trockener, zugfreier Aufbewahrung an Bindekraft. Die noch vielfach herrschende Meinung, daß Portlandcement bei längerem Lagern an Qualität verliere, ist daher eine irrige und es sollten Contractsbestimmungen, welche nur frische Waare vorschreiben, in Wegfall kommen.

III.

Portlandcement soll volumbeständig sein. Als entscheidende Probe soll gelten, daß ein dünner, auf Glas oder Dachziegel ausgegossener Kuchen von reinem Cement, unter Wasser gelegt, auch nach längerer Beobachtungszeit durchaus keine Verkrümmungen oder Kantenrisse zeigen darf.

Erklärungen zu III.

Der zur Bestimmung der Bindezeit angefertigte Kuchen wird sammt der Glasplatte unter Wasser gebracht. Bei rasch bindenden Cementen kann dies schon nach $1/4$ bis 1 Stunde nach dem Anmachen der Probe geschehen; bei langsam bindenden dagegen darf es, je nach ihrer Bindezeit, erst nach längerer Zeit, bis zu 24 Stunden nach dem Anmachen, stattfinden. Zeigen sich nun nach den ersten Tagen oder nach längerer Beobachtungszeit an den Kanten des Kuchens Verkrümmungen oder Risse, so deutet dies unzweifelhaft „Treiben“ des Cementes an, d. h. es findet, in Folge einer allmäligen Lockerung des zuerst gewonnenen Zusammenhangs, unter Volumvermehrung eine beständige Abnahme der Festigkeit statt, welche bis zu gänzlichem Zerfallen des Cements führen kann.

Eine weitere Probe zu gleichem Zwecke ist die folgende: Es wird der zu untersuchende Cement mit Wasser zu einem steifen Brei angerührt und damit auf einem Dachziegelstück, welches mit Wasser vollständig getränkt, jedoch äußerlich wieder abgetrocknet ist, ein nach außen hin dünn auslaufender Kuchen gegossen; je nach der Bindezeit des Cements wird diese Probe, wie eben angedeutet, nach kürzerer oder längerer Zeit unter Wasser gelegt. Wenn der Kuchen weder in den ersten Tagen, noch später sich vom Stein ablöst, noch auch Verkrümmungen oder Risse zeigt, so wird der Cement beim Bau nicht treiben.

IV.

Portlandcement soll so fein gemahlen sein, daß eine Probe desselben auf einem Siebe von 900 Maschen pro Quadratcentimeter höchstens 20 Proc. Rückund hinterläßt.

Motive und Erklärungen zu IV.

Da Cement fast nur mit Sand, in vielen Fällen sogar mit hohem Sandzusatz verarbeitet wird, die Festigkeit eines Mörtels aber um so größer ist, je feiner der dazu verwendete Cement gemahlen war (weil dann mehr Theile des Cementes zur Wirkung kommen), so ist die feine Mahlung des Cementes von nicht zu unterschätzendem Werthe. Es erscheint daher angezeigt, die Feinheit des Korns durch ein feines Sieb von obiger Maschenweite einheitlich zu controliren.

Es wäre indeß irrig, wollte man aus der feinen Mahlung allein auf die Bindekraft eines Cementes schließen, da geringe, weiche Cemente weit eher sehr fein gemahlen vorkommen, als gute, scharf gebrannte; letztere aber werden selbst bei gröberer Mahlung doch stets eine höhere Bindekraft aufweisen als die ersteren.

V.

Die Bindekraft von Portlandcement soll durch Prüfung einer Mischung von Cement und Sand ermittelt werden. Daneben empfiehlt es sich, zur Controle der gleichmäßigen Beschaffenheit der einzelnen Lieferungen auch die Festigkeit des reinen Cementes festzustellen. Die Prüfung soll auf Zugfestigkeit nach einheitlicher Methode geschehen und zwar mittelst Probekörper von gleicher Gestalt und gleichem Querschnitt und mit gleichen Zerreißungsapparaten.

Die Zerreißungsproben sind an Probekörpern von 5 qcm Querschnitt der Bruchfläche vorzunehmen.

Motive zu V.

Da man erfahrungsgemäß aus den mit reinem Cement gewonnenen Festigkeitsresultaten nicht einheitlich auf die Bindefähigkeit zu Sand schließen kann, namentlich, wenn es sich um Vergleichung von Cementen aus verschiedenen Fabriken handelt, so erscheint es geboten, die Prüfung von Portlandcement auf Bindekraft mittelst Sandzusatz vorzunehmen.

Obgleich in der Praxis Portlandcement fast nur auf Druckfestigkeit in Anspruch genommen wird, so ist doch wegen der Kostspieligkeit der bis jetzt bekannten Apparate und der schwierigeren Ausführbarkeit der Proben von der Prüfung auf Druckfestigkeit Abstand genommen und die weit leichtere und einfachere Prüfung auf Zugfestigkeit gewählt, um so mehr, als die hier empfohlenen Proben vor Allem die leicht ausführbare Controlirung der Eigenschaften des zum Bau gelieferten Cementes bezwecken sollen und die Zugfestigkeit einen hinlänglich sichern Schluß auf die Druckfestigkeit zuläßt.

Um vollständige Einheitlichkeit bei den Prüfungen zu wahren, wird empfohlen, für den Bezug der Normalformen, Zerreißungsapparate und der übrigen zur Prüfung erforderlichen Geräthe nur diejenigen Quellen zu benutzen, welche von dem „Vorstande des

Deutschen Cementfabrikantenvereins" nachgewiesen werden; hierzu sollen Bekanntmachungen in Fachblättern erfolgen.

VI.

Guter, langsam bindender Portlandcement soll, bei der Probe mit 3 Gewthln. Normalsand auf 1 Gewthl. Cement nach 28 Tagen Erhärtung — 1 Tag an der Luft und 27 Tage unter Wasser — eine Minimalzugfestigkeit von 10 kg pro Quadratcentimeter haben.

Bei einem bereits geprüften Cement kann die Probe nach 7 Tagen sowohl des reinen Cements als des Cements mit Sandmischung als Controle für die gleichmäßige Güte der Lieferung dienen.

Der Normalsand wird dadurch gewonnen, daß man einen möglichst reinen Quarzsand wäscht, trocknet, durch ein Sieb von 60 Maschen pro Quadratcentimeter siebt, dadurch die gröbsten Theile ausscheidet und aus dem so erhaltenen Sande mittelst eines Siebes von 120 Maschen pro Quadratcentimeter noch die feinsten Theile entfernt.

Die Probekörper müssen sofort nach der Entnahme aus dem Wasser geprüft werden.

Cement, welcher eine höhere Festigkeit als 10 kg pro Quadratcentimeter (s. oben) zeigt, gestattet in den meisten Fällen einen **größeren** Sandzusatz und hat aus diesem Gesichtspunkte betrachtet, sowie oft schon wegen seiner größeren Festigkeit bei **gleichem** Sandzusatz Anrecht auf einen entsprechend höheren Preis.

Bei schnell bindenden Portlandcementen ist die Zugfestigkeit nach 28 Tagen im Allgemeinen eine geringere als oben angegeben.

Motive und Erklärungen zu VI.

Da verschiedene an und für sich gute Cemente hinsichtlich ihrer Bindekraft zu Sand, worauf es in der Praxis ja vorzugsweise ankommt, sich sehr verschieden verhalten können, so ist insbesondere beim Vergleich mehrerer Cemente eine Prüfung mit hohem Sandzusatz unbedingt erforderlich. Als geeignetes Verhältniß wurde angenommen: 3 Gewthle. Sand auf 1 Gewthl. Cement, da mit 3 Thln. Sand der Grad der Bindefähigkeit bei verschiedenen Cementen in hinreichendem Maße zum Ausdruck gelangt.

Es ist, um übereinstimmende Resultate zu erhalten, durchaus erforderlich, überall den oben beschriebenen Normalsand anzuwenden, da die Korngröße des Sandes auf die Festigkeitsresultate von großem Einflusse ist. Der Normalsand soll rein und trocken verwendet werden und sind lehmige und andere fremdartige Bestandtheile unbedingt vorher durch Auswaschen zu entfernen.

Von ganz besonderem Werthe würde es sein, wenn da, wo dieses zu ermöglichen ist, die Zerreißungsversuche an vorräthig zu diesem Zwecke angefertigten

16*

Probekörpern auf Monate und selbst Jahre ausgedehnt würden, um das Verhalten verschiedener Cemente auch bei längerer Erhärtungsdauer kennen zu lernen.

Behufs Erzielung übereinstimmender Resultate ist es ferner geboten, alle Probekörper nach deren Anfertigung während 24 Stunden an der Luft und zwar im Schatten in einer Temperatur von 10 bis 12° R. und bedeckt, wodurch rasche Verdunstung verhütet wird, liegen zu lassen und sie dann bis zur Prüfung unter Wasser zu legen, weil ein kürzeres oder längeres Liegenlassen an der Luft zu beträchtlichen Differenzen in den Festigkeitsresultaten führt.

Die Probekörper dürfen, wie in obiger Resolution erwähnt, erst direct vor der Prüfung dem Wasser entnommen werden, weil ein längeres Verbleiben an der Luft hier ebenfalls zu Schwankungen in den Festigkeitszahlen Veranlassung geben würde.

Beschreibung der Proben zur Ermittelung der Bindekraft.

Da es vor Allem darauf ankommt, daß bei Prüfung desselben Cementes an verschiedenen Orten möglichst übereinstimmende Resultate erzielt werden, so mußten bestimmte Normen für eine durchaus gleichmäßige Behandlung der Probekörper aufgestellt werden. Nur bei genauer Einhaltung dieser im Nachstehenden gegebenen Regeln wird es möglich sein, zu übereinstimmenden Zahlen zu gelangen:

Man legt auf eine zur Anfertigung der Proben dienende Metall- oder Marmorplatte fünf mit Wasser getränkte Blättchen Fließpapier und setzt hierauf fünf vorher gut gereinigte und mit Wasser angenetzte Formen. Man wägt 250 g Cement und 750 g trockenen Normalsand ab und mischt beides in einer Schale gut durch einander. Hierauf bringt man 100 ccm = 100 g reines Wasser hinzu und arbeitet die ganze Masse mit einem Spatel so lange durch, bis dieselbe ein gleichmäßiges Ansehen zeigt. Man erhält auf diese Weise einen sehr steifen Mörtel, welcher sich in der Hand gerade noch ballen läßt. Mit diesem Mörtel werden die Formen auf einmal so hoch angefüllt, daß sie stark gewölbt voll werden. Man schlägt nun mittelst eines eisernen Anmachespatels (im Gewicht von ca. 150 bis 200 g) anfangs schwach, dann stärker den überstehenden Mörtel in die Formen so lange ein, bis derselbe elastisch wird und an seiner Oberfläche sich Wasser zeigt. Ein bis zu diesem Moment fortgesetztes Einschlagen ist unbedingt erforderlich. Ein nachträgliches Aufbringen und Einschlagen von Mörtel ist nicht statthaft, weil Probekörper von gleicher Dichtigkeit hergestellt werden sollen. — Man streicht nun das die Form Ueberragende mit einem Messer ab und glättet mit demselben die Oberfläche.

Nachdem die Proben hinreichend erhärtet sind, löst man durch Oeffnen der Schrauben die Formen ab und befreit die Proben von dem noch anhaftenden Fließpapier.

Um richtige Durchschnittszahlen zu erhalten, sind für jede Prüfung mindestens 10 Probekörper anzufertigen.

Nachdem die Probekörper 24 Stunden an der Luft gelegen haben, werden dieselben unter Wasser gebracht und hat man nur darauf zu achten, daß sie während der ganzen Erhärtungsdauer stets vom Wasser bedeckt bleiben.

Am Tage der Prüfung werden die Proben unmittelbar vor der Prüfung aus dem Wasser genommen und auf dem Apparate sofort zerrissen. Das Mittel aus sämmtlichen 10 Bruchgewichten ergiebt die Festigkeit des geprüften Cementmörtels.

Befinden sich jedoch unter den erhaltenen Zahlen abnorm niedrige, so sind diese, als durch Fehler in der Darstellung der Probekörper verursacht, von der Berechnung auszuschließen.

Anhang.

Will man — wie in den Motiven zu VI. erwähnt — schon nach sieben Tagen eine Controle an der abgelieferten Waare vornehmen, so kann dies durch eine Vorprobe geschehen, und zwar auf zweierlei Art. Entweder:

a) mit Sandmischung: jedoch muß dann die Verhältnißzahl der 7-Tagsfestigkeit zur 28-Tagsfestigkeit am betreffenden Cement erst ermittelt werden, da die Festigkeitsresultate verschiedener Cemente bei der 28-Tagsprobe einander gleich sein können, während sich bei der 7-Tagsprobe noch wesentliche Unterschiede zeigen; oder:

b) mit reinem Cement, indem man auch hier das Verhältniß der 7-Tagsfestigkeit des reinen Cementes zur 28-Tagsfestigkeit bei 3 Thln. Sand an dem betreffenden Cement ermittelt.

Die 7-Tagsprobe aus Sand ist einfach dadurch auszuführen, daß man nach obiger Vorschrift 10 Probekörper mehr anfertigt und diese nach 7 Tagen schon prüft.

Macht man die 7-Tagsprobe aber mit reinem Cement, so können die Probekörper auf verschiedene Weise hergestellt werden. Entweder auf undurchlässigen Unterlagen (Metall- oder undurchlässigen Steinplatten) oder auf absaugenden Unterlagen (Gyps- oder schwach gebrannten Ziegelplatten). Bei der letzteren Probe erhält man bedeutend höhere Zugfestigkeiten, und es ist bei Vergleichung von Zugfestigkeiten der reinen Cemente sowohl als der Cemente mit Sandmischung stets darauf Rücksicht zu nehmen, ob die betreffenden Probekörper auf die eine oder die andere Weise angefertigt sind.

Bei der Probe auf undurchlässiger Unterlage nimmt man auf 1000 Gewthle. Cement 200 bis 275 Gewthle. Wasser, je nach der Bindezeit des betreffenden Cementes, arbeitet die Masse gut durch einander, füllt dieselbe in die Formen, welche von der Unterlage durch Blättchen Löschpapier getrennt sind, und rüttelt die Masse durch Schläge mit dem Spatel gegen die Form derartig zusammen, daß alle Luftblasen entfernt werden und ein zusammenhängender Körper ohne Hohlräume sich bildet. Man streicht hierauf den überschüssigen Mörtel ab und zieht die Form vorsichtig ab. Proben mit dem gleichen Cement müssen hinsichtlich des Wasserzusatzes sowie beim Gusse stets gleich behandelt werden, da

jedes Moment, welches auf eine Vergrößerung oder Verringerung der Verdichtung der Masse einwirkt, auch sofort die Festigkeit verändert.

Will man die Probe auf absaugender Unterlage machen, so nehme man auf 1000 Gewthle. Cement 330 Gewthle. Wasser; der Ueberschuß von Wasser wird hier von der Unterlage aufgesaugt und dadurch eine bedeutende Verdichtung der ganzen Masse herbeigeführt. Selbstverständlich müssen die Unterlagen, um die absaugende Eigenschaft zu behalten, öfter gewechselt und getrocknet werden. Nachdem die Masse in die Form gegossen ist, werden durch Anklopfen an die Form die Luftblasen entfernt. Nachdem die Oberfläche abgestrichen und eine leichte Erstarrung eingetreten ist, kehrt man die Form um, so daß nun auch die obere Seite abgesaugt wird. Die Masse sinkt in Folge der Verdichtung in der Form. Man füllt dann von Neuem Cement auf, streicht bei beginnender Erstarrung ab und zieht die Form vorsichtig vom Probekörper ab. Haftet hierbei der Cement zu fest an der Form, so klopft man die Form von allen Seiten leise an, wodurch eine Lösung von den Wandungen bewirkt wird. — Es gehört einige Uebung dazu, um auf diesem Wege zu guten, gleichmäßige Festigkeit zeigenden Probekörpern zu gelangen.

Die weitere Behandlung und Prüfung der Probekörper hat dann wie oben beschrieben zu geschehen.

Zu diesen Normen bemerken wir noch, daß zur Entscheidung von Streitigkeiten über die Qualität von Cement bei Lieferungen im Ressort des königlich preußischen Ministeriums der öffentlichen Arbeiten unterm 16. August 1880 an alle Baubehörden folgende Verfügung erlassen wurde: Auf den Antrag des Vereins deutscher Cementfabrikanten wird in streitigen Fällen zwischen den Baubehörden und den Fabrikanten über die Qualität von Cement die königliche Prüfungsstation für Baumaterialien zu Berlin als technisch entscheidende Instanz anerkannt[1]).

Da die Entscheidung streitiger Fälle zwischen Abnehmer und Lieferant im Interesse der Bauausführung nur in den seltensten Fällen einen Aufschub gestattet, so ist die genannte Station so eingerichtet worden, daß sie die Prüfung der ihr zugehenden Cementproben in allen Fällen stets sofort vornimmt und daß schon am Tage nach dem Eingange der Cementprobe an den betreffenden Antragsteller eine Benachrichtigung abgelassen werden kann über die erfolgte Einleitung der Untersuchung unter Angabe des Actenzeichens, welches dieselbe in der Station erhalten hat und die Ergebnisse der folgenden Untersuchungen über:

1) Das Gewicht des Cementes pro Liter in fest gerütteltem Zustande; dasselbe wird als Mittel aus drei Versuchen erhalten.
2) Das Gewicht des Normalsandes pro Liter in fest gerütteltem Zustande, ebenfalls als Mittel aus drei Versuchen.
3) Das Wasserquantum in Procenten, welches der Cement an sich zur Abgabe eines sachgemäßen Mörtels beansprucht.
4) Die Temperaturerhöhung beim Anmachen des reinen Cementes mit Wasser von gleicher Temperatur wie der trockene Cement sie hat.

---

[1]) Thonind.-Ztg. 1881, S. 153.

5) Die Abbindezeit des reinen Cementes unter Angabe der Temperatur, bezw. des Wassers und der Luft, sowie der Feuchtigkeit der Luft.
6) Die Feinheit der Mahlung durch Siebversuche. Diese wird aus drei Versuchen bestimmt und hierbei Siebe von 5000, 900, 600, 324 und 180 Maschen pro Quadratcentimeter verwendet.
7) Die Volumbeständigkeit durch Vorversuche.

Die Absendung des vollständigen Prüfungsdocumentes, welches auch die weiteren Versuche über die Volumbeständigkeit enthält, erfolgt stets am Tage des Ablaufs der letzten Erhärtungsperiode, also — da die Festigkeitsversuche für reinen Cement sowohl als auch für verschiedene Mörtelmischungen, den Normen entsprechend, in der Regel voraussichtlich nur für 7, oder für 28, oder für 7 und 28 Tage zugleich beantragt werden können — nach Ablauf dieser Fristen; auch wird in jener ersten Benachrichtigung bereits der Tag der zu gewärtigenden Absendung dieses Prüfungsdocumentes mitgetheilt.

Gleichzeitig hat das königlich preußische Ministerium der öffentlichen Arbeiten verfügt, daß in allen Verträgen über Lieferungen von Cement eine Vereinbarung dahin aufzunehmen ist, daß bei etwaigen, zwischen Lieferanten und der Bauverwaltung eintretenden Streitigkeiten über die Qualität des gelieferten Cementes das Urtheil der königlichen Prüfungsstation für Baumaterialien in Berlin unter unverzüglicher Uebersendung einer geeigneten Probe des von der Bauverwaltung bemängelten Materials angerufen und dasselbe sodann als endgültig in technischer Beziehung von beiden Contrahenten anerkannt werden soll.

Die Normen haben demnach jetzt eine allgemeine Geltung erlangt und es ist damit ein einheitliches Prüfungsverfahren für Preußen, ja für fast ganz Deutschland eingeführt, da auch beinahe alle übrigen deutschen Regierungen dieses Prüfungsverfahren ebenfalls angenommen haben. Es haben diese Normen aber auch in weiteren Kreisen Anerkennung gefunden. Dänemark und Schweden haben Normen ausgearbeitet, welche sich im Wesentlichen den deutschen anschließen. Vom österreichischen Ingenieur- und Architektenverein in Wien[1]) und vom Schweizer Verein von Cementfabrikanten[2]), sowie vom kaiserlich russischen Wegbauminister (unterm 23. August 1881[3]) sind, unter Zugrundelegung der deutschen Normen Normativbestimmungen eingeführt, die im Princip nicht von den deutschen abweichen, sondern nur in einzelnen Bestimmungen.

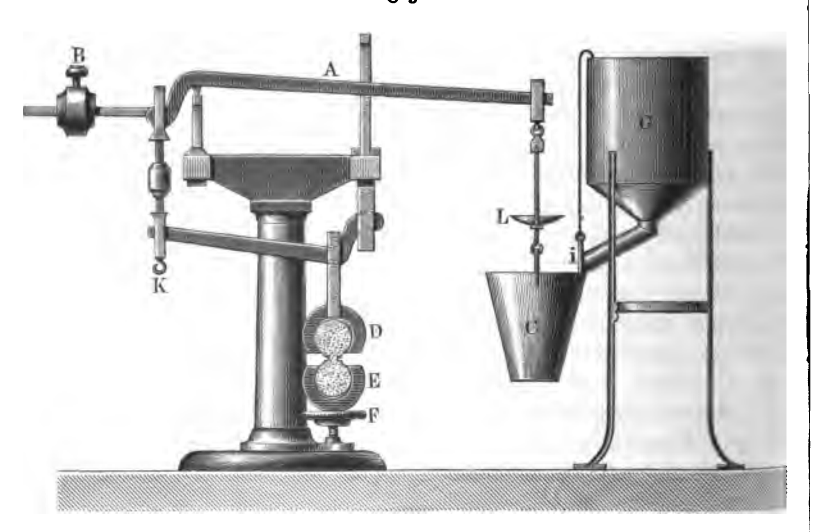
Auch hat selbst in dem Lande, aus welchem die ganze Cementindustrie hervorgegangen ist, die größte derartige Autorität, Mr. Grant, mit allen wesentlichen Punkten sich einverstanden erklärt, die für die Beurtheilung des Cementes als wichtige in den deutschen Normen hingestellt wurden, wie aus den neuesten Grant'schen Lieferungsbedingungen für das „Metropolitan Board of Works" hervorgeht[4]). Diese Bedingungen haben folgenden Wortlaut: „Aller für die genannten Werke nebst Zubehör gelieferter Cement soll von bester Beschaffenheit

---

[1]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrikation v. Ziegeln 2c. 1880, S. 188.
[2]) Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1882, S. 652.
[3]) Ebend. 1881, S. 535.
[4]) Thonind.-Ztg. 1879, S. 402.

sein. Die Mahlung des Cementes soll so fein sein, daß 80 Proc. desselben ein Sieb von 5800 Maschen pro Quadratzoll englisch (900 Maschen pro Quadratcentimeter) passiren. Wenn weniger als 80 Proc. dieses Sieb passiren, so ist eine dem Minderverhältniß entsprechende Quantität Cement hinzuzufügen. Auf die Werke geliefert, soll er in trockene Schuppen oder Baulichkeiten gelagert werden. Die Schuppen müssen gedielt sein und die nöthigen Unterabtheilungen besitzen. Der Cement soll auf den Boden geschüttet werden, und zwar sollen je 20 Scheffel allein gehalten werden. Er ist nicht eher zu verwenden, als bis Proben, aus verschiedenen Säcken entnommen, zur Untersuchung gelangt sind. Der Cement wird mit der dreifachen Gewichtsmenge trockenen Sandes angemacht, der durch ein Sieb von 400 Maschen pro Quadratzoll (= 140 pro Quadratcentimeter) hindurchgegangen und auf einem Siebe von 900 Maschen pro Quadrat-

Fig. 85.



zoll zurückgeblieben ist. Nachdem Cement und Sand trocken wohl gemischt und ungefähr 10 Proc. dem Gewichte nach an Wasser hinzugesetzt sind, werden Probekörper in Formen von 1 Quadratzoll Querschnitt = 6,45 qcm an der schwächsten Stelle hergestellt. Nachdem diese Probekörper 48 Stunden in einer feuchten Atmosphäre gelegen haben, werden sie unter Wasser gesenkt, worin sie bis zur Prüfung ihrer Zugfestigkeit verbleiben. Letztere wird durch die Beamten der Werke mittelst der dortigen Apparate festgestellt. Cement, der bei den Zugproben nicht ein Gewicht von 140 Pfund per Quadratzoll (= ca. 10 kg pro Quadratcentimeter) 28 Tage nach der Herstellung ohne zu zerreißen aushält, wird verworfen und ist von den Werken zu entfernen."

Grant hat somit die Probe mit reinem Cement sowie die 7-Tagsprobe völlig fallen lassen, er prüft nur Sandmischungen mit 3 Gewthln. Sand nach 28 Tagen, er bedient sich dazu eines Normalsandes, der dem deutschen Normal-

raschen Erstarrens derart in Nachtheil, daß dieselben nach der Absaugemethode sogar niedrigere Bruchgewichte liefern können, als bei Anwendung einer undurchlässigen Unterlage von Metall oder Stein.

Es ist daher einleuchtend, daß die Absaugemethode nur zur Beurtheilung eines und desselben bekannten Fabrikates und bei der Prüfung durch dieselbe Hand, nicht aber zur Vergleichung verschiedener, namentlich in der Bindezeit stark differirender Cemente verwendbar ist.

Alle nach der Absaugemethode erhaltenen Festigkeitszahlen fallen wesentlich höher aus als bei Anwendung undurchlässiger Unterlagen. Die Aufgabe einer einheitlichen Prüfungsmethode kann aber nicht darin bestehen, sehr hohe Festigkeitszahlen zu liefern, sondern vielmehr bei einem und demselben Cement allenthalben gleichmäßige und beim Vergleich verschiedener Cemente solche Resultate aufzuweisen, welche der Bindefähigkeit und sonach dem Werthe der Waare entsprechen. Die in den Normen vorgeschriebene Prüfungsweise erfüllt daher diesen Zweck weit besser.

Zur Begutachtung der nach den Beschlüssen des Berliner Architektenvereins, des Berliner Baumarktes, dann des Vereins deutscher Cementfabrikanten und des deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln ꝛc. im Jahre 1877 endgültig aufgestellten Normen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandcement wurde von dem königlich preußischen Minister für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten eine Commission eingesetzt. Das Resultat der eingehenden Verhandlungen dieser Commission war, daß verschiedene Aenderungen und Verbesserungen vorgenommen wurden, daß aber die ursprünglichen Normen in allen wesentlichen Punkten unverändert stehen blieben. Mittelst Erlaß des königlich preußischen Ministeriums für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten, vom 10. November 1878, wurden diese revidirten Normen anerkannt und auch die Anwendung derselben bei Lieferung von Cement für Staatsbauten verfügt. Auch vom königlich preußischen Kriegsministerium wurden diese Normen unterm 4. September 1880 eingeführt und dieselben haben demgemäß künftighin auch bei allen Militärbauten Geltung. Dieselben lauten[1]):

I.

Das Gewicht der Tonnen und Säcke, in welchen Portlandcement in den Handel gebracht wird, soll ein einheitliches sein; es sollen nur Normaltonnen von 180 kg Brutto und 170 kg Netto, halbe Tonnen von 90 kg Brutto und 83 kg Netto, sowie Säcke von 60 kg Bruttogewicht von den Fabriken gepackt werden.

Streuverlust, sowie etwaige Schwankungen im Einzelgewicht können bis zu 2 Proc. nicht beanstandet werden.

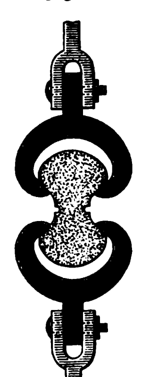
Die Tonnen und Säcke sollen die Firma der betreffenden Fabrik und die Bezeichnung des Bruttogewichtes mit deutlicher Schrift tragen.

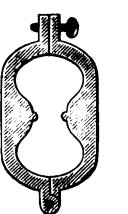
---

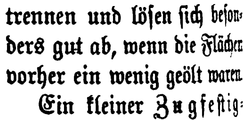
[1]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrikation von Ziegeln ꝛc. 1878, S. 310.

Wie der Probekörper gehalten wird, ist in Fig. 86 dargestellt.

Zur Herstellung der Probekörper bediente man sich früher Formen, die mit Charnier und Schraube versehen waren; im Interesse gleichmäßigerer Herstellung der Probekörper haben die Formen jetzt je zwei Führungsstifte an den Flanschen und eine Klammer, welche beide Formhälften genügend fest zusammendrückt und sich wiederum leicht und rasch beseitigen läßt, Fig. 87 u. 88. Die Klammer wird von der Form abgezogen, nachdem die darin eingestampfte Masse genügend erhärtet ist. Die beiden Formhälften sind leicht von dem Probekörper zu trennen und lösen sich besonders gut ab, wenn die Flächen vorher ein wenig geölt waren.


Fig. 86.


Fig. 87.


Fig. 88.

Ein kleiner **Zugfestigkeitsapparat** für Cement von C. Klebe, der sich, bei äußerst einfacher Construction, durch große Verlässigkeit empfiehlt, ist in Fig. 89 u. 90 dargestellt[1]).

Das Princip desselben ist die gewöhnliche Hebelwage, die bei einem Uebersetzungsverhältniß der Hebelarme von 1 : 15 für eine Maximalzugbelastung bis zu 300 kg berechnet ist; seine Einrichtung ist folgende: Auf einem schwach gekrümmten

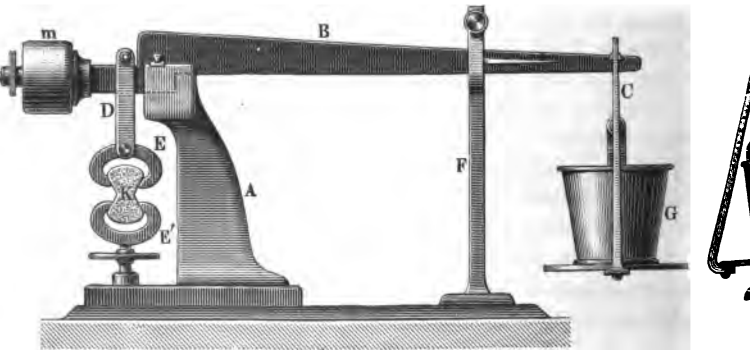
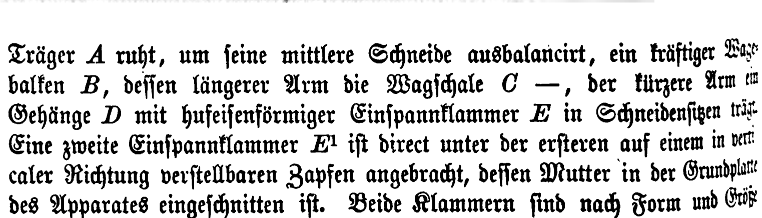


Fig. 89.


Fig. 90.



Träger *A* ruht, um seine mittlere Schneide ausbalancirt, ein kräftiger Wagebalken *B*, dessen längerer Arm die Wagschale *C* —, der kürzere Arm ein Gehänge *D* mit hufeisenförmiger Einspannklammer *E* in Schneidensitzen trägt. Eine zweite Einspannklammer E^1 ist direct unter der ersteren auf einem in verticaler Richtung verstellbaren Zapfen angebracht, dessen Mutter in der Grundplatte des Apparates eingeschnitten ist. Beide Klammern sind nach Form und Größe

---

[1]) Bayerisches Industrie- und Gewerbeblatt 1883, S. 126.

den bekannten, zuerst von Grant eingeführten Normalprobekörpern mit 5 qcm großem Zerreißquerschnitt angepaßt, und durch entsprechende Gelenkführung derselben für sattes und gleichmäßiges Anlegen an den Probekörper gesorgt. — Durch die Gabel *F* wird ein Ueberschlagen des Wagebalkens nach auf- oder abwärts verhindert und zugleich an derselben die Normallage des Balkens durch einen Zeiger angegeben.

Ist ein Probekörper *K* in die Klammern eingeschaltet, wobei auf die Normallage des Wagebalkens Rücksicht zu nehmen ist, so folgt aus der Anordnung des Apparates, daß durch ein auf die Wagschale *C* gelegtes Gewicht ein vertical gerichteter Zug auf das Probestück ausgeübt wird, der dem 15fachen dieses Gewichtes entspricht und nach entsprechender Steigerung den Bruch des Probekörpers herbeiführt. Je nach der angenommenen Prüfungsmethode kann die Belastung durch adjustirte Gewichtsstücke oder Schrotzulauf erfolgen. In beiden Fällen ist die Zugfestigkeit der Probe sehr einfach aus der zum Bruche aufgewendeten Belastung der Wagschale *C* zu bestimmen. Kann diese Belastung direct, wie im ersteren Falle, nach Kilogramm abgelesen werden, so wird mit Bezug auf die ausgesprochene 15fache Uebersetzung und bei einer stets gleichen Bruchquerschnittsgröße von 5 qcm die Zugfestigkeit des betreffenden Probestückes direct durch das Dreifache der abgelesenen Belastung nach Kilogramm pro Quadratcentimeter ausgedrückt. Nach Anwendung einer Schrotbelastung wird die zum Bruche der Probe aufgewendete Schrotmenge am Apparate in einem Verhältniß von 3:10 abgewogen, welches Verhältniß durch Anbringen eines zweiten Schneidensitzes *m* am kurzen Arme des Wagebalkens *B* erreicht ist. Die Schrotlast hängt mit dem zugehörigen Gefäße *G* bei dieser Wägung am kurzen Wagearme, es wird somit durch das 10fache des zum Einspielen der Wage am längeren Arme aufgewendeten und nach Kilogrammen angesetzten Gewichtes unmittelbar die gesuchte Zugfestigkeit angegeben.

Bei den Hafenarbeiten in Velsen (Niederlande) benutzte man zur Prüfung der Cemente den in Fig. 91 und 92 (a. f. S.) im Auf- und Seitenriß dargestellten Apparat von V. de Michele[1]). Derselbe besteht aus zwei aufrechten Ständern *A*, welche derart mit einander verbunden sind, daß zwischen ihnen zwei Hebel schwingen können. Der obere Hebel *B* dient dazu, den Obertheil des zu prüfenden Blockes *C* zu halten, indem er denselben mittelst zweier Klauen *DD* umfaßt, welche in der aus Fig. 91 ersichtlichen Weise unter den oberen Ansatz des Blockes eingreifen. Der untere Hebel ist in der gleichen Weise mit dem Blocke *C* in Verbindung gebracht; mittelst einer Verzahnung und einer Schnecke mit Handrad *G* kann derselbe bewegt und damit das mit Gewichten *FF* belastete freie Ende des Hebels *B* auf beliebige Höhe gehoben werden. Man sieht leicht, daß die Gewichte *F* mit wachsender Erhebung des Hebels *B* eine immer größer werdende Spannung im Blocke *C* bewirken; diese Spannung wird auf einem Quadranten *H* gemessen, indem ein Zeiger *I* durch einen am Hebel *B* angebrachten Stift *K* gehoben wird. Setzt man die Belastung fort, bis der Bruch eintritt, so fällt der Hebel *B* etwas zurück, während der Zeiger *I* stehen bleibt.

[1]) Polyt. Centralbl. 1871, S. 167. Dingl. pol. J. **199**, 260.

Die Backen *D D* sind durch lose durchgehende Schrauben gehindert, sich völlig von einander zu trennen, wodurch gleichzeitig das vollständige Zurückfallen des Hebels vermieden wird. Beim Prüfen von Blöcken nach dieser Methode ist es nöthig, den Hals derselben in der Stärke der zu verwendenden Blöcke herzustellen;

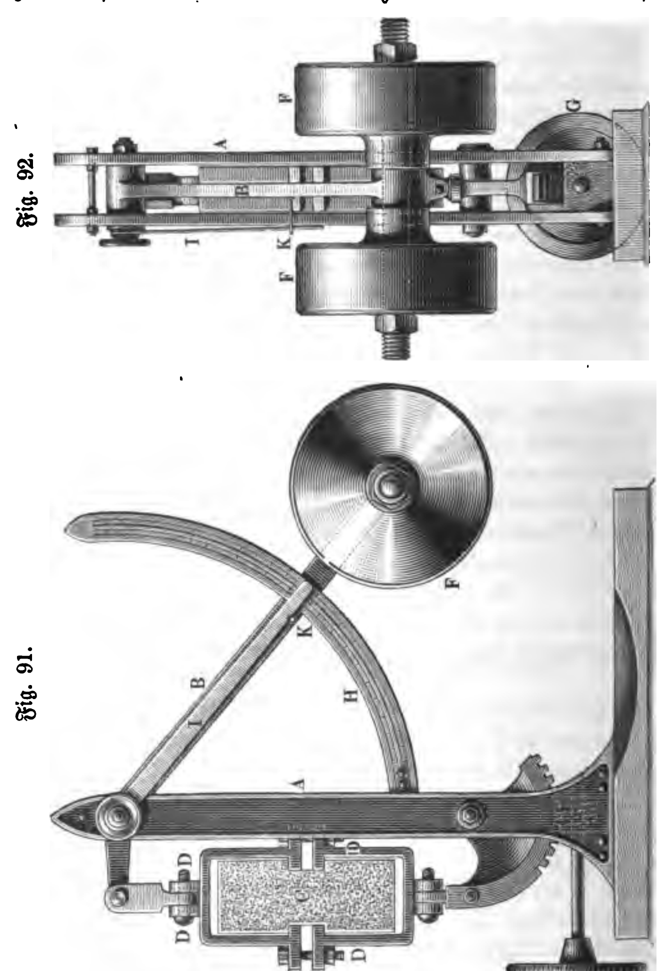


Fig. 92.

Fig. 91.

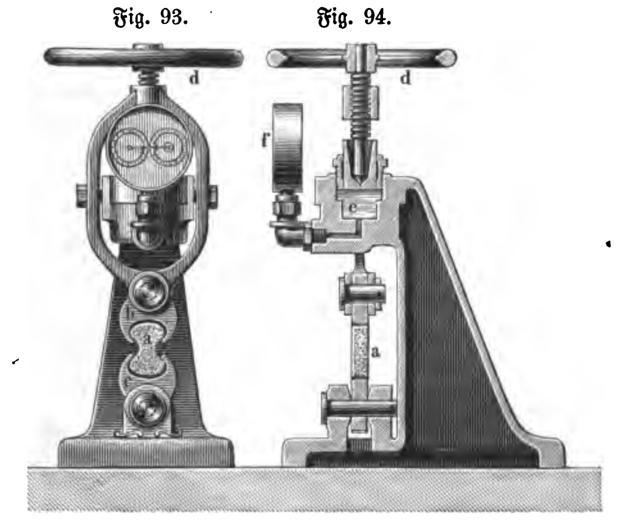
übrigens ist der Apparat derartig eingerichtet, daß die üblichen Dimensionen sofort darauf geprüft werden können.

H. Studt in Mainz (D. R.-P. Nr. 264 vom 28. August 1877) hat einen Apparat construirt, welcher die directe Ablesung der Festigkeit in Kilogrammen pro Quadratcentimeter gestattet [1]), Fig. 93 und 94. Der Probeziegel *a* wird oberhalb und unterhalb des zu zerreißenden Querschnittes von

[1]) Dingl. pol. J. **233**, 318 u. **224**, 487.

qcm von zwei Klauen *b* und *c* gefaßt, von denen die untere mittelst eines Geıkbolzens an der Sohlplatte befestigt ist, während die obere Klaue an einem ügel sitzt, welcher mit Hülfe der Stellschraube *d* gehoben werden kann. Die :rbei bis zum Eintritt des Zerreißens ausgeübte Kraft wird in der Weise ge:ssen, daß die Spitze der Stellvorrichtung durch ein Kölbchen die Glycerinllung *e* eines Behälters zusammenpreßt. Die entstehende Spannung wird durch

Fig. 93. Fig. 94.



:in aus zwei völlig getrennten Gehwerken bestehendes Doppelmanometer *f* in der Art angezeigt, daß jede Scala direct die zerreißende Spannung in Kilogrammen für 1 qcm abzulesen gestattet. Eine der Scalen ist mit einem Maximumzeiger versehen, der je nach Beendigung eines Versuchs auf Null zurückzudrehen ist. Die Scalen beider Manometer sind durch directe Belastung bestimmt. Die Doppeltheilung leistet Gewähr für die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Resultates.

Die Gebrüder Riehle in Philadelphia haben gleichfalls einen Zerreißungsapparat construirt, an welchem die Zerreißungsfestigkeit direct abgelesen werden kann [1]).

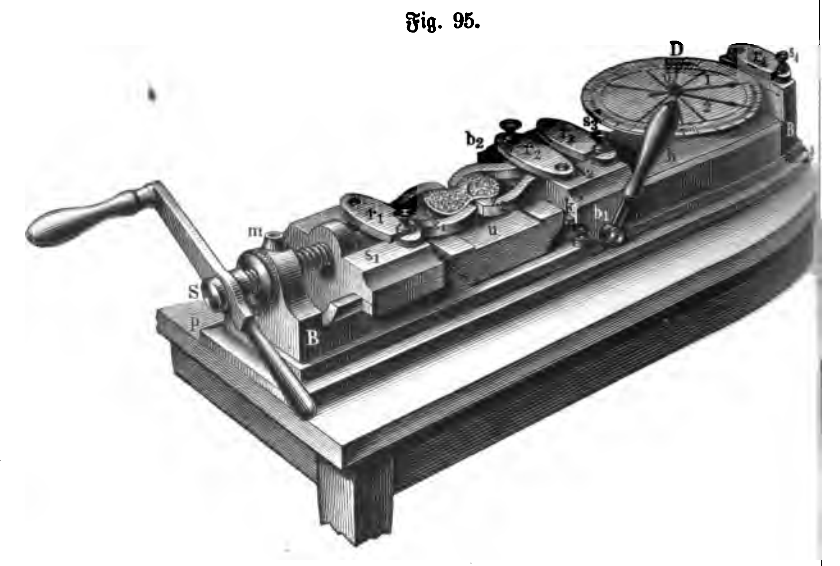
Nach W. Kraft wird bei den Apparaten, welche auf dem Princip der doppelten Hebelübersetzung aufgebaut sind, die hierdurch erstrebte Genauigkeit illusorisch, wenn man bedenkt, daß schließlich die Größe der durch Zufluß von Wasser oder Schrotkörnern ausgeübten Zugkraft auf einer Federwage bestimmt werden muß. Und wenn auch bei richtiger Federwage die Größe der Zugkraft für den vorliegenden Zweck hinreichend genau ermittelt werden kann, und selbst angenommen, daß durch den Einlauf des Wassers oder der Schrotkörner bei zweckmäßiger Anordnung keinerlei Stoß zu erfolgen braucht, so muß doch zugegeben werden, daß zwischen dem Momente, in welchem der Riß erfolgt, und jenem, da der Zufluß abgesperrt wird, eine gewisse Zeit verfließt, während welcher

[1]) Dingl. pol. J. 233, 318.

neue Belastung hinzutritt, die zur Trennung des Probekörpers nicht mehr erforderlich war. Ob dieses Plus, selbst aus vielfachen Versuchen, mit jener Genauigkeit ermittelt werden kann, welche durch die sonstige Construction dieser Apparate bedingt ist, bleibt immerhin fraglich. Kraft hat daher einen Apparat zur Bestimmung der Zugfestigkeit des Cementes construirt, bei dem er bemüht war, diese Inconsequenzen zu vermeiden, ohne dabei jene Anforderungen aus dem Auge zu verlieren, welche in Bezug auf die Genauigkeit der Resultate gestellt werden müssen. Dieser Apparat ist in Fig. 95 in ca. $^1/_8$ natürlicher Größe dargestellt[1]).

Auf einem prismatischen Brette B, welches auf einer Holzplatte p festgeschraubt ist, befinden sich zwei Schlitten s_1 und s_2. Zur Aufnahme der ent-

Fig. 95.



sprechend geformten Zangen z_1 und z_2, zwischen welche der Probekörper C eingespannt wird, dienen zwei kreisrunde Bolzen, welche, an dem Schlitten befindlich, in der Zeichnung durch die Riegel r_1 und r_2 gedeckt erscheinen. Der Schlitten s_2 trägt außerdem noch einen solchen Bolzen (durch den Riegel r_3 gedeckt); dieser und der unter dem Riegel r_4 befindliche Bolzen haben die Lage des Federdynamometers D zu fixiren, welches in den Apparat im Verwendungsfalle eingespannt wird. Während der Zeiger *1* nach Maßgabe der Spannung der Feder auf der bis 140 kg reichenden Theilung spielt, ist der Zeiger *2* lose auf der Achse und wird durch den bei *o* angebrachten Stift vom ersten Zeiger geschoben. Wenn auch die Zugkraft zu wirken aufhört und in Folge dessen der Zeiger *1* zurückschnellt, bleibt *2* an der dieser Zugkraft entsprechenden Stelle stehen und gestattet auf diese Weise, daß die ausgeübte Zugkraft nachträglich abgelesen werde.

---

[1]) Wochenschr. des österr. Ingenieur- und Architektenvereins 1881, Nr. 2.

Auf den Schlitten s_1 wirkt die Schraube S, welche bei m ihre Mutter hat und ein fünffaches Gewinde besitzt. Die Zugkraft wird durch die Zange z_1 auf den Probekörper C, durch die Zange z_2 auf den zweiten Schlitten s_2 und von diesem auf das Dynamometer D übertragen.

Hierbei kommen zwei Umstände in Betracht. Soll das Dynamometer richtige Angaben liefern, so muß, abgesehen von der Richtigkeit der Theilung, a) die Zugkraft axial wirken und der Probekörper selbst auch axial eingespannt sein, und b) der ganze auf den Probekörper ausgeübte Zug durch den Schlitten s_2 übertragen werden. Zu diesem Ende ist derselbe folgendermaßen gelagert: Während der Schlitten s_1 eine schwalbenschwanzförmige Führung hat, ruht der Schlitten s_2 auf den sorgfältig gehobelten und polirten Gleitflächen des prismatischen Bettes so auf, daß zwischen seinen nach unten zu breiter werdenden Backen b_1 und b_2 und dem Bette je ein Zwischenraum entsteht, der durch die Keile k_1 und k_2 ausgefüllt werden kann, wenn mittelst eines Excenters, das durch den Handgriff h zu bewegen ist, und an welchem sich diese Keile befinden, diese nach oben gepreßt werden.

Wie nun dadurch den obigen Bedingungen entsprochen ist, wird aus dem bei den Versuchen einzuhaltenden Vorgange klar werden. Der Probekörper C wird, nachdem die hölzerne Unterlagsplatte u eingeschoben und der Apparat überhaupt so, wie ihn die Zeichnung darstellt, adjustirt ist, in die Zangen z eingelegt; gleichzeitig werden durch Bewegen des Handgriffes h nach links die Keile k zwischen die Backen b und das Bett eingepreßt. Dadurch erhält der Schlitten s_2 die axiale Stellung. Wird die Schraube S ein wenig gedreht, so daß der Probekörper gerade durch die Zangen gehalten wird, so können jetzt die Unterlagsplatte u entfernt und die Keile k durch das Excenter ausgelöst werden. Auf diese Weise gleitet also der Schlitten s_2 auf dem sorgfältig polirten Bett mit einer praktisch verschwindenden Reibung axial und ist auch der Probekörper so eingespannt. Der Zeiger *1* schiebt beim Anziehen der Schraube S den Zeiger *2* vor. Ist die Trennung des Probekörpers erfolgt, so schnellt der Schlitten s_2 zurück und wird dieser Stoß durch ein Kautschukpolster aufgefangen. Der Stand des Zeigers *2* giebt endlich die Größe des Zuges im Momente der Trennung, also die auf den betreffenden Querschnitt ausgeübte Zugkraft in Kilogrammen an.

Was diesen Apparat besonders empfehlenswerth erscheinen läßt, das ist die Möglichkeit, sich jederzeit und ohne viele Mühe von seiner Richtigkeit überzeugen zu können. Werden nämlich die Riegel r_3 und r_4 nach Lüftung der Schrauben s_3 und s_4 weit genug ausgelöst, so kann das Dynamometer herausgenommen und die Richtigkeit seiner Scala durch Anhängen von Gewichten untersucht werden.

Apparate zur Prüfung der Festigkeit des Cementes sind auch von Jacob[1]) und Brown[2]) beschrieben worden.

Wir haben oben bereits bemerkt, daß gegen die vom Verein der deutschen Cementfabrikanten und vom königlich preußischen Handelsministerium angenommenen Normen seitens fünf Cementfabrikanten und Dr. Michaëlis Protest erhoben

---

[1]) Dingl. pol. J. 235, 293. — [2]) Engineer 1880, S. 100.

und zu den Resolutionen V. und VI. Amendements gestellt wurden. Die wesentlichste Differenz in diesen Amendements beruhte in dem Verlangen, gleichzeitig mit der von der Commission beantragten Prüfung eines Mörtels aus 1 Thl. Cement und 3 Thln. Sand auch die Prüfung des reinen Cementes auf Zugfestigkeit und mit der Prüfung nach 28 Tagen auch eine solche nach schon 7 Tagen, sowie zur Anfertigung der Probekörper eine absaugende Unterlage vorzuschreiben. Die Gründe, warum diese Anträge verworfen wurden, haben wir bereits S. 233 u. ff. näher aus einander gesetzt.

Zur Frage der Normen wollen wir noch weiter erwähnen, daß, obwohl die Normen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandcement mit der größten Sorgfalt ausgearbeitet wurden und dieselben jetzt eine fast allgemeine Geltung erlangt haben, sich an verschiedenen Stellen, wo nach den Normen gearbeitet wurde, doch Unterschiede in den Festigkeitsresultaten ergeben haben, in Folge dessen auch die Normen von verschiedenen Seiten angegriffen wurden. Wir wollen daher in Nachstehendem die Punkte erörtern, welche einen Einfluß auf die Resultate der Festigkeitsbestimmung äußern können[1]).

Vor Allem spielt hierbei eine große Rolle der Sand, indem erfahrungsgemäß die Festigkeit eines Cementmörtels nicht allein von der Güte des Cementes, sondern auch von der Qualität des Sandes abhängt. Aus diesem Grunde hat sich ja auch der Vorstand des Vereins deutscher Cementfabrikanten veranlaßt gesehen, für die einheitliche Prüfung und insbesondere für streitige Fälle einen einheitlichen Normalsand herstellen zu lassen, welcher Normalsand auch von dem chemischen Laboratorium für Thonindustrie in Berlin vorräthig gehalten und von dort bezogen werden kann.

Bei Vielen besteht aber die Meinung, man könnte sich den Sand selbst herstellen, und da zeigte sich dann, daß ein anderer Sand für denselben Cement zu ganz anderen Resultaten führte. Um den Einfluß der Beschaffenheit des Sandes auf die Festigkeitsermittelung des Cementes kennen zu lernen, sind nun in neuester Zeit von verschiedenen Seiten umfassende Versuche angestellt worden; die wichtigsten Resultate dieser Versuche sind, da sie auch für die Bereitung und Anwendung des Cementmörtels im Bauwesen von Werth sind, in Nachstehendem zusammengestellt.

Auf den Einfluß der Beschaffenheit des Sandes auf die Festigkeit des Cementes hat schon R. Dyckerhoff[2]) aufmerksam gemacht. Amöneburger Portlandcement von 1,5 Stunden Bindezeit gab mit 3 Thln. Normalsand nach 7 Tagen eine Zugfestigkeit von 7,6 kg, nach 28 Tagen von 13,8 kg. Derselbe Cement mit reinem scharfem Rheinsand, der noch viel feines Korn enthielt und aus dem der Normalsand für die Fabrik gewonnen wird, ergab jedoch nur 6,6 kg nach 7 und 10,4 kg nach 28 Tagen.

Auch von Dr. Heintzel[3]) wurde festgestellt, wie sehr verschieden zwei, bei oberflächlicher Prüfung als gleich brauchbar erkannte Sandsorten in ihrer Fähigkeit mit Cement zu verkitten sein können.

---

1) Dr. Goslich, Thonind.-Ztg. 1881, S. 172.
2) Dingl. pol. J. 226, 645.
3) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrik. von Ziegeln rc. 1876, S. 206.

W. Michaëlis[1]) hat eine Reihe von Versuchen mit Sand verschiedener Korngröße und mit scharfkantigem, durch Zerschlagen von Kies erhaltenem Sande ausgeführt, aus denen er folgert:

1) daß der Unterschied in der Festigkeit bei Anwendung eines Sandes zwischen 60 und 120 Maschen im Vergleich zur Verwendung eines Sandes zwischen 60 und 240 Maschen eine beachtenswerthe nicht genannt werden kann. Es wäre auch ganz gleichgültig, welchen dieser Sande man anwenden wollte, für den zweiten (60 bis 240) spricht nur, daß er im Allgemeinen nur halb so kostspielig sein dürfte;
2) daß ein Gewicht nicht darauf zu legen ist, daß der Sand scharfkantig sei, es ist nur erforderlich, daß er rein sei.

L. Erdmenger[2]) hat gefunden, daß, wenn man die obere Grenze von 60 Maschen als feststehend angenommen hat, man nach unten bei der Auswahl der Sandsiebe nicht gar zu ängstlich zu sein braucht. Hauptsache bleibt immer, daß das Feine ganz herausgesiebt ist, und daß ferner das übrige Korn alle Größen bis zur oberen Grenze hinauf enthält. Zieht man aber das Gröbste heraus, so wird die Festigkeit entschieden geringer, wie folgende Versuche zeigen:

	Maschenzahl 700 bis 180	Maschenzahl 400 bis 60	Normalsand
Nach 10 Tagen . .	8,5 kg	11,5 kg	12,0 kg
„ 20 „ . .	10,5 „	15,2 „	15,8 „
„ 40 „ . .	13,8 „	19,0 „	19,6 „

Jedenfalls empfiehlt es sich, die Maschenzahl 120 beizubehalten, da bei Anwendung eines sehr feinen Sandes auch erheblich mehr, selbst bis zu 15 Proc. Wasser, zum Anmachen erforderlich sein wird, als die in den Normen vorgeschriebenen 10 Proc.

Einen wesentlichen Unterschied zwischen natürlichem und durch Zerschlagen von Kies hergestelltem scharfkantigen Sand hat Erdmenger auch nicht gefunden.

Domcke[3]) hat dagegen beobachtet, daß Normalsand aus Seesand und aus scharfkantigem Grubensand ganz erheblich verschiedene Resultate geben. Es wurde daher auch in der Generalversammlung allseitig anerkannt, daß es in den Normen statt Quarzsand „möglichst scharfkantiger Quarzsand“ heißen sollte.

Wie verschieden die Art des Sandes auf die Festigkeit der Normalproben einwirkt, zeigen auch nachstehende Versuche von Tomei[4]); die angegebenen Festigkeiten sind Durchschnittsresultate:

	I. Versuch	II. Versuch
Normalsand aus Rheinsand, glimmerhaltig . .	17,4	18,5
„ „ einem Sande von Schladebusch	20,4	21,5
Der letztere Sand mit 120 bis 400 Maschen .	16,3	—

[1]) Dingl. pol. J. 230, 74. Wagner's Jahresber. d. chem. Technol. 1878, S. 688.
[2]) Thonind.-Ztg. 1878, S. 140, 147 u. 250.
[3]) Notizbl. f. Fabrik. v. Ziegeln 2c. 1878, S. 145.
[4]) Thonind.-Ztg. 1878, S. 234.

Fr. Schott[1]) stellte eine Reihe von Versuchen zur Ermittelung des Einflusses von Sand mit verschiedenem Lehmgehalte auf die Festigkeit des Cementmörtels an und glaubt aus den Ergebnissen den Schluß ziehen zu dürfen, daß die Festigkeit des Cementmörtels beinahe genau im Verhältniß des Lehmgehaltes des Sandes abnehme, jedoch nicht stärker.

Rud. Dyckerhoff[2]) hat Normalsande aus Sand von verschiedenen Fundstätten aufs sorgfältigste hergestellt und vergleichende Festigkeitsprüfungen damit vorgenommen. Selbst wenn die Sande im Liter gleichviel Hohlräume enthielten, wichen doch die Festigkeitsresultate bei einigen beträchtlich ab, während andere wieder völlig gleiche Festigkeit ergaben. Aus seinen Versuchen scheint hervorzugehen, daß die Oberfläche der einzelnen Sandkörner von größerem Einfluß auf die Festigkeit ist als die Korngröße.

Sehr eingehende Untersuchungen über den Einfluß der Verwendung verschiedener Sandsorten wurden von Delbrück ausgeführt[3]). Die vier hierzu verwendeten Sandsorten wurden sämmtlich mit demselben Cement geprüft und die Proben in genau gleicher Weise hergestellt. Ferner wurden die Gewichte gleicher Volumen der Sandsorten bestimmt, sowie die Hohlräume derselben und ihre Feinheit ermittelt. Der zu den Versuchen verwendete Cement war ein besonders guter und fein gemahlener. Die erhaltenen Resultate giebt die Tabelle auf S. 259.

Der Freienwalder Sand, der die höchsten Zahlen ergab, ist ein fast nur aus Quarz bestehender grober Sand; bei diesem hat sich sogar herausgestellt, daß er im ungewaschenen Zustande etwas höhere Zahlen ergab als im gewaschenen, was durch mehrfache Versüche festgestellt wurde.

Von C. Schumann wird die Thatsache bestätigt, daß sich in der Natur Sandsorten finden, welche eine höhere Festigkeit als Normalsand liefern; weit häufiger tritt allerdings das Gegentheil ein und es kann unter Umständen das Gelingen einer Cementarbeit durch die Qualität des Sandes geradezu in Frage gestellt werden. So hat Schumann im Jahre 1877 einen in der Praxis verwendeten Sand untersucht, der im Verhältniß von 3 : 1 Cement nach 28 Tagen nur 2 kg Festigkeit lieferte, während Normalsand mit demselben Cement 14 kg ergab. Ein anderer sehr gut aussehender Sand ergab bei demselben Mischungsverhältniß nach 7 Tagen noch gar keine, nach 28 Tagen 10,5 kg Festigkeit, während Normalsand nach 7 Tagen 10,4 kg, nach 28 Tagen 15,6 kg bei einer Bindezeit des Cementes von einer Stunde lieferte. Der fragliche Sand enthielt nur 1,3 Proc. an Bestandtheilen, die durch Waschen sich entfernen ließen; allein die Verunreinigungen hafteten außerordentlich hartnäckig an den Sandkörnern. Der gewaschene Sand ergab nach 7 Tagen 9 kg, nach 28 Tagen 15,6 kg Festigkeit.

Nach Rud. Dyckerhoff beeinträchtigt schon ein geringer Thongehalt des Sandes die Festigkeit wesentlich, wenn der Thon sehr fest an der Oberfläche der Sandkörner haftet, daß dagegen ein Zusatz von Thon oder Lehm bis zu mehreren

---

1) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrik. v. Ziegeln ꝛc. 1879, S. 178.
2) Ebend. 1880, S. 96.
3) Ebend. 1880, S. 116. Wagner's Jahresber. d. chem. Techn. 1880, S. 515.

Sandsorte	1 Liter Sand wiegt kg	1 Liter hat Hohlräume ccm	Siebresultate	Geprüft nach Tagen	Zugfestigkeit Kilogramm auf 1 qcm: 1 Cement 3 Sand	Zugfestigkeit Kilogramm auf 1 qcm: 1 Cement 4 Sand	Zugfestigkeit Kilogramm auf 1 qcm: 1 Cement 6 Sand
Normalsand	1,660	380	Rückstand bei 60 Maschen auf 1 qcm 0 Proc. „ „ 120 „ „ 1 „ 100 „	7 28 60	21,7 27,6 27,3	16,1 20,8 22,5	8,0 12,1 14,1
Grober Sand von Freienwalde	1,790	325	Rückstand bei 60 Maschen auf 1 qcm 49 „ „ „ 120 „ „ 1 „ 31 „ „ „ 600 „ „ 1 „ 16,5 „ „ „ 900 „ „ 1 „ 1 „ durch 900 „ „ 1 „ 1 „	7 28 60	24,5 29,1 31,4	20,9 23,8 26,7	13,2 17,9 19,5
Derselbe abgesiebt	1,790	330	Rückstand bei 60 Maschen auf 1 qcm 36,5 „ „ „ 120 „ „ 1 „ 37 „ „ „ 600 „ „ 1 „ 26 „ durch 600 „ „ 1 „ 0 „	7 28 60	24,6 27,1 31,2	20,1 22,8 23,6	13,7 16,2 18,0
Sand aus einer Grube der Züllchower Fabrik	1,855	250	Rückstand bei 60 Maschen auf 1 qcm 38 „ „ „ 120 „ „ 1 „ 26 „ „ „ 600 „ „ 1 „ 27,5 „ „ „ 900 „ „ 1 „ 2,5 „ durch 900 „ „ 1 „ 3 „	7 28 60	23,5 27,8 28,7	19,1 23,6 26,0	13,2 17,6 18,6
Derselbe abgesiebt	1,815	300	Rückstand bei 60 Maschen auf 1 qcm 34,5 „ „ „ 120 „ „ 1 „ 28,5 „ „ „ 600 „ „ 1 „ 35,5 „ durch 600 „ „ 1 „ 0 „	7 28 60	22,5 27,9 28,7	20,0 21,6 25,3	15,5 18,7 21,0
Feiner reiner Quarzsand .	1,850	290	Rückstand bei 60 Maschen auf 1 qcm 5,5 „ „ „ 120 „ „ 1 „ 34,5 „ „ „ 600 „ „ 1 „ 53 „ „ „ 900 „ „ 1 „ 1,5 „ durch 900 „ „ 1 „ 3 „	7 28 60	20.1 23,6 25,5	17,2 20,8 21,6	12,2 14,8 16,4

Procenten, wie Versuche ihm dieses gezeigt haben, die Festigkeit nicht vermindern, wenn der Thon oder Lehm dem Sande nur lose beigemischt ist. Die von Dyckerhoff gemachten Beobachtungen fanden durch Erfahrungen, welche Heintzel gemacht hatte, Bestätigung.

H. Arnold[1]) fand, unter Zugrundelegung von Siebversuchen und mikroskopischen Untersuchungen von Sandsorten, daß die Festigkeit der Cementmörtel in gleichen Mischungen mit demselben Cemente (1 Thl. Cement und 3 Thle. Sand), aber verschieden gewählten Sandsorten von dem Rauhheitsgrade und der Größe des Sandkornes abhängt. Es ist also bei Sand von gleicher Korngröße derjenige der beste, dessen Körner den größten Rauhheitsgrad haben und umgekehrt ist bei Sand von gleichem Rauhheitsgrade derjenige der beste, dessen Korn das größte ist, natürlich innerhalb gewisser Grenzen.

Auch von Dr. Böhme wurden Versuchsreihen mitgetheilt über den Einfluß der verschiedenen Korngrößen eines zu Cement-Normenproben benutzten Sandes auf die Bindefähigkeit der Mörtel[2]).

Da demnach feststeht, daß Normalsande von verschiedenen Fundorten, selbst wenn sie sorgfältig hergestellt werden, dennoch verschiedene Festigkeitsresultate liefern können, ist es zur Erzielung gleichmäßiger Resultate und zur unparteiischen Prüfung der garantirten Festigkeit unbedingt nothwendig, die Cementprüfungen entweder mit dem Berliner Normalsande, von dem man aber ja nicht annehmen darf, daß er mit Cementen die höchste Zugfestigkeit liefert, und der auch sehr theuer zu stehen kommt, auszuführen, oder daß man mit dem auf andere Weise gewonnenen Normalsande mit dem Berliner Normalsande von Zeit zu Zeit Parallelversuche macht und eine Transposition der betreffenden Resultate auf Berliner Normalsand bewirkt.

Ein weiterer Punkt, weshalb die Proben an verschiedenen Stellen verschieden ausfallen, liegt noch darin, daß man in einer verschiedenen Zeit die Probekörper mittelst des Schrotzulaufapparates reißt. Dr. Goslich fand z. B. dieselbe Probe in 34 Secunden gerissen mit 19,1 kg, in 76 Secunden mit nur 18,1 kg[3]).

Dyckerhoff[4]) fand bei Versuchen mit verschiedenen Apparaten, obwohl zu allen Versuchen Probekörper von gleicher Gestalt und gleichem Querschnitt und am selben Tage nach der Normenprobe hergestellt wurden, daß die Bruchgewichte bei jeder einzelnen Zerreißungsmethode zwar unter sich übereinstimmten, daß aber die Resultate der verschiedenen Apparate unter einander verglichen, wesentlich verschieden waren, von 16 bis 23 kg pro Quadratcentimeter. Er schloß aus diesen Versuchen, daß die verschiedenen Zeiten, innerhalb welcher bei den einzelnen Apparaten der Bruch erfolgt, die Hauptursache der beobachteten Differenzen ist. Die Bruchgewichte fallen um so niedriger aus, je größer die zum Zerreißen angewendete Zeit ist, was auch von Grant constatirt wurde.

---

1) Zeitschr. d. Hannov. Archit.- u. Ingenieurv. 1883, S. 495. Wagner's Jahresb. d. chem. Techn. 1883, S. 635. — 2) Thonind.-Ztg. 1883, S. 176. Wagner's Jahresb. d. chem. Techn. 1883, S. 637. — 3) Thonind.-Ztg. 1881, S. 173. — 4) Ebend. 1879, S. 102.

Th. Behrmann bestätigt durch Untersuchungen die Angaben Dyckerhoff's[1]). Bei einem Vergleiche der Apparate von Raasche in Riga und dem in Deutschland eingeführten Normalcementprüfungsapparate gab der letztere um ca. 25 Proc. höhere Prüfungszahlen als der erstere. Auch Behrmann sucht den Grund im Wesentlichen in der Verschiedenheit der Zeitdauer der Versuche und schloß daraus, daß vermuthlich auch bei demselben Apparate je nach der Zeitdauer des Zerreißungsactes das Resultat variiren würde. Er stellte deshalb unter Benutzung des Normalcementprüfungsapparates ein paar Versuchsreihen an, wobei er bei der ersten die Belastung rasch, bei der zweiten möglichst langsam zunehmen ließ. Die Resultate waren folgende:

Nr. des Versuchs	1. Versuchsreihe Zeitdauer in Secunden	Kilogramm pro qcm	2. Versuchsreihe Zeitdauer in Secunden	Kilogramm pro qcm
1	21	57,0	208	52,5
2	19	47,7	225	43,7
3	23	63,5	240	54,5
4	20	59,3	225	50,3
5	21	55,7	181	44,5
Mittel	20,8	56,64	215,8	49,1

Vier andere ältere Probestücke ergaben:

	Rasche Belastung	Langsame Belastung
	52,0 kg pro qcm	44,5 kg pro qcm
	53,0 „ „ „	39,5 „ „ „
Mittel	52,5 kg pro qcm	42,0 kg pro qcm

Da demnach bei der Cementprüfung mit der Abkürzung des Zerreißungsactes höhere Festigkeitszahlen erhalten werden, und sich bei Anwendung verschiedener Apparate verschiedene Festigkeitszahlen ergaben, so ist zur vergleichenden Prüfung nicht nur nothwendig, daß derselbe Apparat hierzu verwendet wird, sondern daß auch unter möglichst gleichen Bedingungen gearbeitet werden muß.

Ein großer Unterschied in den Festigkeitszahlen ist noch dadurch bedingt, daß die verschiedenen Probestationen die Probekörper verschieden einschlagen. Es ist auch natürlich, daß, je länger man auf den Probekörper schlägt, desto mehr Material hineingedrückt wird, desto fester wird er also. Vergleichende Proben ergaben: gewöhnlich eingeschlagen 14,0 kg, stark eingeschlagen 16,9 kg, wobei der Probekörper des letzteren 1,5 g mehr wog als der des ersteren Versuchs[2]).

Von Dr. Erdmenger[3]) ist den Normen der Vorwurf gemacht worden, daß sie die Individualität der einzelnen Cemente nicht genügend berücksichtigen und die Prüfung mehr den langsam bindenden Cementen entsprechend behandeln. Er hat daher als Zusätze zu den Normen vorgeschlagen, daß

[1]) Thonind.-Ztg. 1879, S. 256. — [2]) Ebend. 1881, S. 173. — [3]) Ebend. 1881, S. 239.

1) beim Prüfungsverfahren nicht 10 Proben auf einmal, sondern nur je 4 angemacht und daß

2) die Proben mit festem Trockengewicht von 140 g eingeschlagen werden.

Von A. Bernoully[1]) werden die Angriffe besprochen, indem er bemerkt: Was Punkt 1) betrifft, so ist es richtig, daß bei schnell bindenden Cementen die Zeit, welche 10 Probekörper zum Anmachen erfordern, eine zu lange ist. Vom Zumischen des Wassers zum Cement bis zum Einklopfen der Proben vergeht, speciell bei ungeübter Hand, immerhin eine Zeit von 10 Minuten. Bindet ein Cement schon in dieser Zeit ab, so ist es offenbar, daß die Sandproben dadurch geschädigt werden. Schlägt man von einem solchen Cement 10 Proben hintereinander ein und vergleicht die gefundenen Festigkeitszahlen, so wird man sehen, daß die späteren Proben zurückgehen, also beim Anmachen verdorben sind. Bei einer kommenden Revision der Normen könnte dieser Punkt in Bezug auf schnell bindende Cemente wohl berücksichtigt werden. Langsam bindende Cemente werden dadurch nicht geschädigt und schnellere vor Nachtheil bewahrt.

Was die zweite von Dr. Erdmenger vorgeschlagene Abänderung, die Proben nicht, wie in den Normen angegeben, frei einschlagen zu dürfen — gleichviel, wie viel Masse in die einzelnen Formen eingeht — sondern die Probekörper mit einem festen Trockengewicht anzumachen, betrifft, so wurde von Bernoully durch Versuche festgestellt, daß der Unterschied zwischen der Prüfung nach den Normen und dem Erdmenger'schen Verfahren kein allzu großer ist; der beste und schlechteste Cement charakterisirt sich nach der einen wie nach der anderen Methode in gleicher Weise. Bernoully kann daher keinen Grund finden, die mit vieler Mühe geschaffenen, von der Regierung und den Behörden acceptirten und zur allgemeinen Gültigkeit erhobenen Normen abzuändern.

Auch von R. Dyckerhoff wird das Unzutreffende der Angriffe des Dr. Erdmenger dargelegt; nach seiner Ansicht ist die Aufstellung eines bestimmten Gewichtes der Probekörper nicht nur entbehrlich, sondern es würde sogar unrichtig sein, für alle Cemente ein gleiches Gewicht der Probekörper zu verlangen.

Schwankungen in den Festigkeitsresultaten ergeben sich auch, wenn die Probekörper nicht, wie die Normen vorschreiben, erst direct vor der Prüfung dem Wasser entnommen werden, sondern dieselben vor der Prüfung längere Zeit an der Luft liegen läßt. Alle aus dem Wasser genommenen Probestücke verlieren beim Abtrocknen an der Luft auf noch nicht erklärte Weise innerhalb verhältnißmäßig kurzer Zeit ihre hohe Festigkeit, wie dies durch umfassende Untersuchungen von Michaëlis[2]), Heintzel[3]) und Erdmenger[4]) nachgewiesen wurde.

Die im Vorstehenden aufgeführten Punkte zeigen daher, daß zur richtigen Untersuchung der Cemente auf ihre Festigkeit Kenntnisse, Erfahrung und Uebung

---

[1]) Thonind.-Ztg. 1882, S. 322. Wagner's Jahresb. d. chem. Techn. 1882, S. 64

[2]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrik. v. Ziegeln ꝛc. 1875, S. 229. Wagner's Jahresb. d. chem. Techn. 1880, S. 506.

[3]) Notizbl. d. deutschen Ver. f. Fabr. v. Ziegeln ꝛc. 1875, S. 357; 1876, S. 202.

[4]) Thonind.-Ztg. 1880, S. 295, 336 u. 374.

erforderlich sind und daß, wenn man mittelst der Normenprobe zu übereinstimmenden Resultaten gelangen will, die Vorschriften der Normen genau eingehalten werden müssen; geringe Verstöße gegen dieselben können schon bedeutende Fehler verursachen.

Im Uebrigen muß man auch immer festhalten, daß die Normen gar nicht den Anspruch machen, ein absolutes Resultat zu ergeben, sondern immer nur relative Zahlen für die Brauchbarkeit eines Cementes liefern sollen.

Durch die in neuester Zeit aufgetretene Frage über die Zumischung minderwerthiger Körper zum Portlandcement sah sich indeß der Verein deutscher Cementfabrikanten (Febr. 1884) wiederholt veranlaßt, über die Frage der Abänderung der bestehenden deutschen Normen zu verhandeln, und es hat sich hierbei der Verein über eine Reihe von Gesichtspunkten, nach denen die deutschen Normen abgeändert werden sollen, schlüssig gemacht; die redactionelle Ueberarbeitung der Abänderungen wurde aber einer eingesetzten Commission überwiesen. — Die wichtigsten adoptirten Neuerungen sind: Es solle die Bindezeit für rasch bindende Cemente auf zwei Stunden ausgedehnt werden und nur 10 Proc. Siebgrobes auf dem 900-Maschensiebe erlaubt sein; ferner habe die Prüfung auf Druck- und Zugfestigkeit zu geschehen und die Minimalzugfestigkeit sei auf 16 kg zu erhöhen.

Weiter sei bemerkt, daß auf Einladung des Herrn Prof. Bauschinger vom 22. bis 24. September 1884 eine Conferenz von Vorständen öffentlicher Prüfungsanstalten, Industriellen, technischen Chemikern ꝛc. zur Vereinbarung einheitlicher Untersuchungsmethoden bei der Prüfung von Bau- und Constructionsmaterialien auf ihre mechanischen Eigenschaften in München stattfand, wobei von Prof. Tetmayer eine Reihe von Anträgen gestellt wurde, welche sämmtlich, und zwar größtentheils mit Einstimmigkeit zum Beschlusse erhoben wurden; am Schlusse der Verhandlungen wurden die Beschlüsse einer gewählten Commission zur Ausarbeitung überwiesen.

Das Wesen der beantragten Neuerungen besteht in Folgendem:

1) Mechanische Feststellung der zur Bestimmung der Bindeverhältnisse zu verwendenden Breiconsistenz.

2) Bestimmung der Abbindungsverhältnisse mittelst einer Normalnadel.

3) Einführung des Erhärtungsbeginns als maßgebendes Merkmal, ob ein hydraulisches Bindemittel rasch, halblangsam oder mittelbindend —, oder aber als langsam bindend zu bezeichnen sei.

4) Einführung einer constanten Mörtelconsistenz anstatt der bisherigen constanten Wassermenge, da ein und dasselbe Bindemittel je nach Umständen zur Verarbeitung verschiedener Wassermengen verlangt.

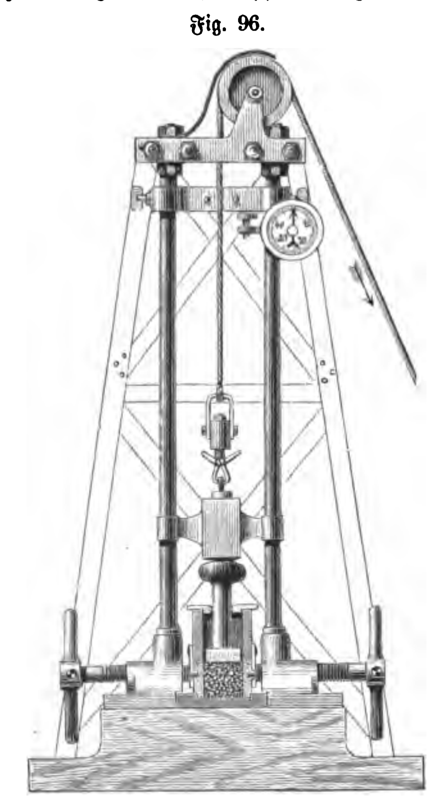
5) Einführung constanter Arbeitsleistung bei Erzeugung der Probekörper der Zug- wie Druckfestigkeit; es soll vermieden werden, daß bei Erzeugung der Probekörper die Laune, Willkür und mancher Zufall mitspiele. Ohne constante mechanisch geleistete Rammarbeit bleiben aus naheliegenden Gründen die Zahlenwerthe der verschiedenen Versuchsstationen unter einander unvergleichbar.

6) Einführung der Druckfestigkeit als Werthmesser. Die Zug- oder Normenfestigkeit ist bei constantem Mischungsverhältniß (1 : 3) zur Vergleichung der hydraulischen Bindemittel völlig unbrauchbar. Das Bestreben, die Zugprobe

festzuhalten, dafür für jedes hydraulische Bindemittel ein bestimmtes Minimalverhältniß von Zug zu Druck vorzuschreiben, hat bisher kein Resultat ergeben, da man bisher gänzlich übersehen hat, daß die in verschiedener Weise gearbeiteten Probekörper (Zug, Druck) verschiedene specifische Gewichte besitzen, somit unvergleichbar sind.

Von Prof. Tetmayer ist auch ein Apparat construirt worden, welcher den Zweck hat, dem ganzen Prüfungsverfahren hydraulischer Bindemittel eine sichere Grundlage zu geben und Einheit in dasselbe zu bringen. Dieser Apparat, Fig. 96, bildet eine kleine Ramme[1]). Die sehr zweckmäßig construirte Form für Herstellung der Würfel zur Druckprüfung wird in einem schwalbenschwanzförmigen Einschnitt der eisernen Bodenplatte des Apparates gegen eine Rückleiste stoßend eingeschoben, eine genau passende, zur Aufnahme der Füllung dienende Ueberform darauf gestellt und mittelst herab drehbarer Laschen und seitlich angebrachter Schrauben Oberform mit Unterform fest verbunden und unverrückbar fest gestellt. Der Mörtel aus bestimmten Gewichten von Bindemittel und Sand nebst dem erforderlichen Wasser wird für jeden Probekörper besonders bereitet, fünf Minuten gut durchgearbeitet, in die Form mit Ueberform gefüllt und eben vertheilt. Sodann wird ein genau passender, in der Oberform sich leicht führender eiserner Stempel darauf gestellt und auf diesen mittelst eines Rammgewichtes eine bestimmte Anzahl Schläge aus bestimmter Fallhöhe ausgeübt. Nach Entfernung des Preßstempels und der Ueberform wird der die Form überstehende Mörtel abgestrichen, die Oberfläche mittelst eines breiten ebenen Messers geglättet und der Probekörper aus der Form genommen. Die Hebung des Rammklotzes erfolgt durch Anziehen einer über eine Rolle laufenden Schnur. Derselbe läuft in seitlicher Führung, löst sich in bestimmter Höhe selbstthätig aus und ist so geformt, daß die Schläge stets genau centrisch wirken.

Fig. 96.



Nach Friedr. Schott beträgt die Dauer einer Operation wie folgt:

---

[1]) Thonind.-Ztg. 1884, S. 381.

Reinigen der Form nebst Einspannen in den Apparat . . .	$1^1/_2$ Minuten,
Abwiegen der Mörtelmaterialien und Abmessung des Wassers .	$4^1/_2$ "
Mörtelmischung (constant)	5 "
Dauer des Einschlagens nebst Abstreichen und Glätten der Oberfläche und Herausnahme des Probekörpers	4 "
Zeitdauer für Herstellung des Probekörpers Summa	15 Minuten.

Tetmayer's Rammapparat dient:

1) Zur Bestimmung der zum Anmachen des Normalmörtels (1 : 3) eines hydraulischen Bindemittels erforderlichen Wassermenge. Das Princip ist: gleicher Grad der Plasticität der Gewichtseinheit der Mörtelsubstanz bei constanter Rammarbeit. Ausführung: Mittelst 2 bis 3 Vorversuchen wird diejenige Wassermenge (ausgedrückt in Procenten des Gewichtes der trockenen Mörtelsubstanz) bestimmt, bei welcher unter Einwirkung der constanten, angenommenen Rammarbeit eben noch kein Auslaugen des Cementes eintritt.

750 g trockene Mörtelsubstanz werden mit x Proc. Wasser angefeuchtet, der Mörtel fünf Minuten lang (bei schnellbindendem eine Minute) durchgearbeitet, in die Büchse des Rammapparates eingefüllt und nun pro 10 g trockene Mörtelsubstanz 1 kgm Arbeit ausgeübt.

750 g erfordern = 75 kgm· Arbeit = 15 Schläge eines 10 kg schweren Rammklotzes aus 0,5 m Höhe.

Unmittelbar nach dem letzten Schlage wird der Körper ausgeschaltet. War kein Herausspritzen, Auslaugen von Cementschlamm aus dem Mörtel eingetreten, so wird der Versuch mit $x + 1/_2$ Proc. wiederholt und man wiederholt so lange, bis man die Grenze erreicht; auf diese Weise bestimmt man die zum Anmachen erforderliche Wassermenge auf $1/_4$, jedenfalls auf $1/_2$ Proc. genau.

2) Zur Bestimmung des specifischen Gewichtes der Probekörper. Mit der nun bekannten Wassermenge werden abermals 750 g trockene Mörtelsubstanz angefeuchtet, 5 bezw. 1 Minute lang durchgearbeitet und mit 1 kgm Arbeit pro 10 g Trockensubstanz eingerammt. Das Ergebniß der Operation ist ein Parallelepiped, dessen Gewicht (unmittelbar nach Ausschaltung) G_g, dessen Volumen (durch Ausmaß) V_{ccm} beträgt. Das Gewicht der Kubikeinheit fester Mörtelsubstanz beträgt nun:

$$\gamma = \frac{G}{V}.$$

Tetmayer nimmt zur weiteren Verwendung stets ein Mittel aus zwei Versuchen als das maßgebende specifische Gewicht γ an.

Die Probekörper der Zug- und Druckfestigkeit werden dann mit dem bestimmten Wasserquantum und dem berechneten specifischen Gewichte von Hand erzeugt.

Der Inhalt der Michael'schen 8ter Formen muß vorher ermittelt und ebenso das Volumen der Würfelmodelle (7 cm Kantenlänge) ausgemessen werden.

Bezeichnet

V_z das Volumen der Zugprobe,

V_d „ „ „ Würfel (Druckprobe),

so beträgt

$V_z \cdot \gamma =$ das Gewicht einer Zugprobe,

$V_d \cdot \gamma =$ „ „ „ Druckprobe (Würfel).

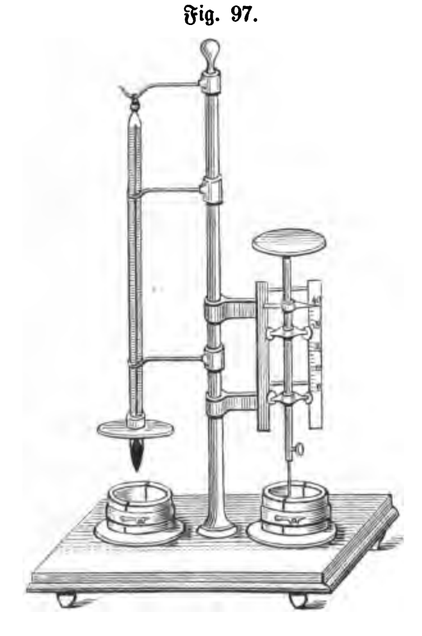
Die Arbeiter, welche die Probekörper nun erzeugen, sind gehalten, bis auf eine Differenz von 2 bis 3 g die Gewichte der Probekörper einzuhalten.

3) Ein Vergleich der Volumina der mittelst Ramme gewonnenen Parallelepipede verschiedener hydraulischer Bindemittel giebt ein relatives Maß ihrer Ausgiebigkeit; dieselbe führt zur Lösung der Frage: welches Bindemittel ist, mit Rücksicht auf seine Ergiebigkeit, in einem bestimmten Falle das ökonomischste?

4) Nachdem Zug- und Druckkörper in dieser angeführten Weise mit constantem specifischem Gewichte gearbeitet sind, kann erst von einem Verhältnisse der Zug- zur Druckfestigkeit des Normalmörtels gesprochen werden.

Um den Einfluß der Bindezeit auf die Festigkeitsproben kennen zu lernen, hat Prof. Tetmayer den Erhärtungsproceß näher studirt[1]). Zu diesem Ende hat derselbe den in Fig. 97 dargestellten Apparat construirt. Rechts der Ständersäule befindet sich eine Vicat'sche Nadel von 300 g Gewicht und 1 qmm Nadelquerschnitt. Zur thunlichsten Reduction der Reibung erhielt die Nadel eine Rollenführung. Links der Ständersäule ist ein selbstregistrirendes Thermometer mit $^1/_{10}{}^0$ C. Theilung. Ueber dem abwärts conisch gestalteten Quecksilbergefäß wurde an dem gläsernen Thermometermantel ein Bügel befestigt, der beim Eintauchen des Quecksilbergefäßes in den unter das Thermometer geschobenen Cementkuchen von constanten Abmessungen, das Quecksilbergefäß stets in die Kuchenmitte zu versenken gestattet. Mittelst dieses kleinen Apparates konnten nun einerseits die Temperaturänderungen, andererseits der Verlauf des Erhärtungsprocesses eines Cementes beobachtet werden.

Fig. 97.



Die zur Aufnahme des zu prüfenden Cementbreies bestimmten hölzernen Dosen sind cylindrisch, bei 4 cm Höhe 1 cm stark. Der lichte Durchmesser der Dosen beträgt 8 cm. Die auf ebene Glasplatten verlegten Dosen werden rasch

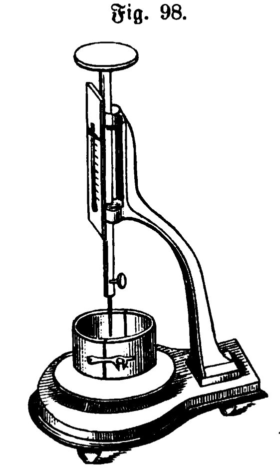
[1]) Deutsche Töpfer- u. Ziegler-Ztg. 1883, S. 234. Wagner's Jahresb. der chem. Techn. 1883, S. 641.

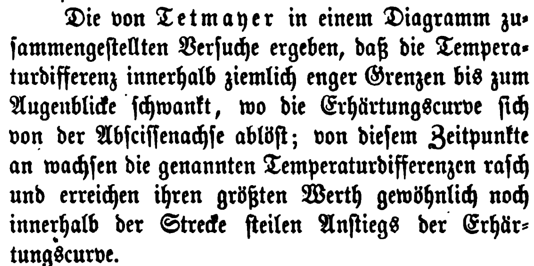
mit dem gut durchgearbeiteten Cementbrei gefüllt, die Oberfläche eben abgestrichen und in den Apparat geschoben. Selbstverständlich sind vor dem Anmachen Cement, Wasser und Cementgefäß auf gleiche Temperatur zu bringen.

Sobald das Quecksilbergefäß des Thermometers in die Mitte der einen, breigefüllten Dose eingeführt ist, beginnt die Beobachtung. Die unter die Nadel geschobene Dose mit ihrer Unterlagsplatte ist verschiebbar, so daß die von Minute zu Minute abgelassene Nadel jedesmal eine andere Stelle der Kuchenoberfläche trifft. Sitzt die Nadelbasis auf der Unterlagsplatte, so steht ein auf dem Nadelschafte angebrachter Index auf Null der auf einer Führungsleiste angebrachten Millimetertheilung. Sowie der Cementbrei zu arbeiten beginnt, steigt seine Temperatur und die abgelassene Nadel vermag die Unterlagsplatte nicht mehr zu erreichen; der Index giebt in Millimetern den Stand der Nadelbasis über der Unterlagsplatte der Dose. Mit dem Stande der Nadel wird gleichzeitig


der des Thermometers Minute für Minute beobachtet und protokollirt.

Fig. 98.




Die von Tetmayer in einem Diagramm zusammengestellten Versuche ergeben, daß die Temperaturdifferenz innerhalb ziemlich enger Grenzen bis zum Augenblicke schwankt, wo die Erhärtungscurve sich von der Abscissenachse ablöst; von diesem Zeitpunkte an wachsen die genannten Temperaturdifferenzen rasch und erreichen ihren größten Werth gewöhnlich noch innerhalb der Strecke steilen Anstiegs der Erhärtungscurve.

Hierzu sei bemerkt, daß die Abscisse des Endpunktes der Erhärtungscurve der Bindezeit des Cementes nach schweizerischen Normen entspricht; danach werden unter rasch bindenden Cementen diejenigen verstanden, deren Erhärtungsbeginn innerhalb 10 Minuten fällt. Fällt der Erhärtungsbeginn eines Cementes über 30 Minuten hinaus, so ist derselbe als langsam bindend zu bezeichnen. Zwischen den schnell und langsam bindenden rangiren die halblangsam bindenden Cemente.

Nach den 1883 revidirten schweizerischen Normen für eine einheitliche Nomenclatur, Classification und Prüfung hydraulischer Bindemittel wird zur Bestimmung des Erhärtungsbeginnes und der Bindezeit eines hydraulischen Bindemittels ein genügendes Quantum desselben ohne Zusatz von Sand zu einem steifen Brei angerührt und damit eine auf eine Glasplatte gestellte Metalldose von 4 cm Höhe und 8 cm lichtem Durchmesser gefüllt. Der Moment, wo die Normalnadel mit 1 qmm Querschnittfläche und 300 g Gewicht die sich selbst überlassene erstarrende Masse nicht mehr gänzlich zu durchdringen vermag, bestimmt den Erhärtungsbeginn. Im Zeitraum vom Anmachen, resp. Füllen der Dose bis zum Erhärtungsbeginn ist jedes hydraulische Bindemittel zu verarbeiten, soll die Endfestigkeit der aus dem Materiale hergestellten Construction keinen

Abbruch erleiden. — Sobald der Kuchen soweit erstarrt ist, daß die Normalnadel keinen merkbaren Eindruck mehr hinterläßt, ist das Material als abgebunden zu betrachten; die erforderliche Zeit heißt **Bindezeit**. — Da der Bindeproceß der hydraulischen Bindemittel von der Lufttemperatur insofern beeinflußt wird, als höhere oder niedere Temperaturen das Abbinden beschleunigen, resp. verzögern, so sollten die Versuche bei einer mittleren Temperatur von 15° C. vorgenommen werden. Wo dies nicht möglich ist, sollen die Temperaturverhältnisse in Berücksichtigung gezogen und angegeben werden.

In Fig. 98 (a. v. S.) geben wir die Ansicht der sogenannten **Normalnadel**; die Behandlung derselben ist die denkbar einfachste und bedarf keiner weiteren Erläuterung.

Bei Anstellung von vergleichenden Versuchen über Festigkeiten verschiedener Portlandcementsorten ist auch auf die **Korngröße der Cemente** Rücksicht zu nehmen, da erfahrungsgemäß die mehr oder weniger feine Mahlung einen großen Einfluß auf die Festigkeit ausübt, auf welchen Umstand **Michaëlis**[1]) in seiner Arbeit über **Werthstellung der Cemente** wiederholt hingewiesen hat. Derselbe sagt hierüber: Bei der Verwendung von Portlandcement gewöhnlicher Mahlung bleibt ein gewisser Antheil desselben wirkungslos; wie groß dieser Antheil sein wird, hängt von der Mahlung ab. Prüft man die Cemente, welche im Handel vorkommen, nach dieser Richtung hin, so findet man, daß bei Anwendung eines Siebes mit 900 Maschen per Quadratcentimeter zwischen 20 und 40 Proc. Rückstand auf dem Siebe verbleiben. Dieser Rest ist zu mindestens $^4/_5$ wirkungslos.

Man nehme einen erhärteten reinen Cement beliebigen Alters, pulverisire ihn so, daß er ein Sieb mit 900 Maschen passirt und mache dieses Pulver genau so wie frischen Cement an; meist schon nach einigen Stunden, sicher aber nach Tagesfrist wird der Mörtel anziehen und nach 7 Tagen wird man eine ganz beachtenswerthe Wiedererhärtung constatiren können. So fand **Michaëlis** an 4 Jahre altem erhärteten Sterncement, nachdem derselbe stets der Witterung und allen Frösten innerhalb dieser Zeit geflissentlich ausgestellt gewesen, bei dieser zweiten Erhärtung die folgenden Zugfestigkeiten pro Quadratcentimeter:

Nach 7	Tagen	5,4 kg
„ 30	„	8,7 „
„ 90	„	18,9 „

Andererseits nehme man irgend einen Cement des Handels, passire ihn durch ein Sieb mit gleicher Maschenweite wie oben und mache alsdann die beiden gewonnenen Theile, jeden für sich, an. Der grobe Theil wird sich fast wie gewöhnlicher Grand verhalten, so zu sagen todt daliegen; erst nach längerer Zeit zeigt

---

[1]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrik. von Ziegeln ꝛc. 1875, S. 234; 1876, S. 170. **Wagner's** Jahresb. d. chem. Techn. 1876, S. 685. **Heintzel**, Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrik. von Ziegeln ꝛc. 1876, S. 204.

sich ein Anziehen und Binden und selbst nach Jahresfrist wird nur ein untergeordneter Mörtel daraus resultiren. Macht man diesen groben Antheil aber so fein, daß er durch ein Sieb von 900 Maschen sich schlagen läßt, so hat man, wofern guter Cement vorlag, ein sehr vorzügliches Material gerade in diesem Theile. Weiter nehme man 100 Thle. Cement gewöhnlicher Mahlung und 500 bis 1000 Thle. Sand, je nach Belieben, und stelle daraus Mörtel her; dann verfahre man genau ebenso, nur entziehe man den 100 Thln. Cement durch das Sieb mit 900 Maschen die 20 bis 40 Thle. groben Pulvers und verwende nur den feinen Antheil, also nunmehr 60 bis 80 Thle. auf eben dasselbe Quantum Sand. Die Festigkeit beider Mörtel wird dann darüber belehren, welche Wirkung der grobe Antheil im ersten Falle geübt hat. Der grobe Antheil im Cement spielt fast nur die Rolle von Sand und je nach der Mahlung ist bei Portlandcement ein größerer oder geringerer Antheil als todte, ungenutzte Masse zu betrachten.

Da aber schlechte Cemente, besonders thonreiche Mischungen und noch mehr unsachgemäß erbrannte Waare vorzugsweise leicht fein fallen beim Mahlen, so ist selbstverständlich, daß die mehr oder weniger feine Mahlung kein ausschließliches Beurtheilungsmoment sein kann, sondern nur in Verbindung mit Prüfung auf Festigkeit einen Werth haben kann.

Für den Nutzwerth hydraulischer Mörtel können nun die Festigkeitsresultate allein nicht maßgebend sein, da hierfür noch andere wesentliche Eigenschaften, wie rasche Erhärtungsfähigkeit &c. in Betracht kommen. Man verwendet daher noch für gewisse Zwecke Romancement, trotzdem derselbe bei bester Qualität eine wesentlich geringere Festigkeit ergiebt als Portlandcement, aus dem Grunde, weil er bei Wasserandrang eine rasche Erhärtung annimmt. Aus ähnlichen Rücksichten kann man gezwungen sein, rasch bindendem Portlandcement den Vorzug vor langsam bindendem zu geben. Es sind aber mit rasch bindendem Cement nicht gleich hohe Festigkeitszahlen zu erzielen als mit langsamer bindendem, aber dennoch wird in manchen Fällen der rascher bindende Cement mit geringerem Bruchgewicht dem langsamer bindenden mit höherer Festigkeit gleichwerthig zu erachten sein. Der Grund hierfür liegt in dem Einfluß der Bindezeit auf die Festigkeit. — Der Einfluß, den die Bindezeit auf die Anfangsfestigkeit ausübt, tritt am deutlichsten hervor, wenn man die Festigkeitszahlen eines rascher bindenden Cementes mit denjenigen vergleicht, welche man mit demselben Cement erhält, nachdem man ihn durch bekannte Mittel vorher langsam bindend gemacht hat. So fand R. Dyckerhoff[1]) bei einem Cement von 90 Minuten Bindezeit bei der Normalprobe eine Festigkeit von 7,6 kg für 1 qcm nach 7 Tagen und von 13,8 kg nach 28 Tagen, während derselbe Cement auf eine Bindezeit von 7 Stunden gebracht, entsprechend 10,9 und 15,9 kg erreichte.

Die folgende Tabelle giebt die Festigkeitsresultate eines und desselben Cementes, von ursprünglich $1/2$ Stunde Bindezeit, die auf bezw. $3 1/2$, 10 und 14 Stunden gebracht worden war.

---

[1]) Deutsche Bauzeitung 1878, Nr. 7. Wagner's Jahresb. der chem. Techn. 1878, S. 694.

Bindezeit desselben Cementes	Reiner Cement mit je 275 g Wasser auf 1000 g Cement			1 Thl. Cement, 3 Thle. Sand, Normalprobe		
	7 Tage	28 Tage	56 Tage	7 Tage	28 Tage	56 Tage
1/2 Stunde . .	22,7	28,5	37,7	8,1	11,8	15,7
3 1/2 Stunden . .	22,2	32,1	37,5	10,0	14,9	17,9
10 „ . .	26,4	35,7	42,0	11,2	16,7	19,2
14 „ . .	29,9	38,2	44,9	12,7	18,5	20,2

Diese Versuche zeigen zur Genüge, von welch außerordentlichem Einfluß die Bindezeit auf die Festigkeit ist, und zwar geht aus denselben hervor, daß ein und derselbe Cement eine um so höhere Festigkeitszahl ergiebt, je länger bei demselben das Abbinden verzögert wird.

Die Thatsache, daß langsam bindende Cemente größere Festigkeitszahlen liefern als rascher bindende, erklärt sich leicht durch die Vorgänge, welche bei der Erhärtung des Cementes stattfinden. Es laufen dabei zwei Processe, nämlich ein mechanischer und ein chemischer, neben einander her. Der mechanische Proceß besteht darin, daß sich nach dem Anmachen des Mörtels die Theilchen auf einander ablagern, wodurch der Mörtel eine gewisse Dichte erlangt. Diese Dichte wird um so größer ausfallen, je mehr Zeit für die Ablagerung man gewährt. Mit dem Momente, wo der parallel laufende chemische Proceß so weit vorgeschritten ist, daß der Cement erstarrt, d. h. daß der Mörtel als abgebunden zu betrachten ist, hört die Wirkung des mechanischen Processes auf und von da an bleibt der chemische Proceß allein in weiterer Wirksamkeit. Ist nun ein Cement rasch bindend, so wird der mechanische Proceß durch den chemischen Proceß früher als sonst unterbrochen, und es haben die Theilchen nicht die nöthige Zeit, um sich eben so dicht auf einander zu lagern, als sie bei langsam bindendem Cement dies thun würden. Wenn daher bei dem langsam und dem rascher bindenden Cement der gleiche chemische Proceß wirkt, so wird bei den näher an einander gelagerten Theilchen des langsamer bindenden Cementes die Verkittung eine innigere sein, als bei den weiter aus einander liegenden Theilchen des rascher bindenden Cementes.

Für guten, langsam bindenden Cement wird man daher hohe Festigkeitszahlen verlangen können, während man für gleich guten, aber rascher bindenden Cement nur geringere Festigkeitszahlen beanspruchen darf. Man erhält bei gleich sorgfältiger und richtiger Anfertigung, je nach der Natur der Rohmaterialien, Cement von kurzer oder langer Bindezeit. Es bietet aber keine Schwierigkeit, einen rascher bindenden Cement nachträglich langsam bindend zu machen und dadurch seine Festigkeit entsprechend zu erhöhen. Daher können Cemente, welche in Folge der Benutzung weniger geeigneter Rohmaterialien oder wegen mangelhafter Fabrikationsweise als von geringerem Werthe zu erachten sind, wenn dieselben nachträglich langsam bindend gemacht werden, gleiche oder selbst höhere Bruchgewichte ergeben, als gute aber rasch bindende Cemente. Man wird sich

jedoch über den Werth solcher Fabrikate nicht täuschen können, wenn man die bei annähernd gleicher Bindezeit gewonnenen Resultate mit einander in Vergleich bringt.

Hieraus ergiebt sich, daß Festigkeitszahlen für die Beurtheilung des relativen Werthes verschiedener Cemente nur dann maßgebend sind, wenn bei ihrer Erlangung neben der Festigkeit selbst auch auf wesentliche Differenzen in der Bindezeit Rücksicht genommen wird.

Der Einfluß der Bindezeit auf die Festigkeit ist zwar in den deutschen Normen unter II. angedeutet, aber in seiner ganzen Tragweite doch noch zu wenig gewürdigt, daher wurde in der Generalversammlung des Vereins deutscher Cementfabrikanten 1879 ein Antrag von Dyckerhoff gleichsam zur Ergänzung der Normen in folgender Fassung angenommen[1]: Die bei der Normenprobe ermittelte Festigkeitszahl kann nur unter Berücksichtigung der die Festigkeit mitbedingenden Bindezeit zur Werthbestimmung eines Cementes dienen. Es soll daher bei Nennung von Festigkeitszahlen stets auch die Bindezeit aufgeführt werden.

Von Dr. Heintzel wurde darauf hingewiesen, daß bei Ermittelung der Bindezeit die Menge des Wasserzusatzes von Einfluß ist[2]. Ein Cement ergab, mit 33 1/3 Proc. Wasser angemacht, eine Bindezeit von 9 1/4 Stunden, mit 30 Proc. 7 1/4 Stunden, mit 26,5 Proc. 4 Stunden, mit 23,3 Proc. 37 Minuten und mit 20 Proc. 4 Minuten. Nun sagen die Normen zwar, daß man einen steifen Brei machen und der gegossene Kuchen an den Rändern dünn ausfließen soll; die dadurch bestimmte Menge Wasser kann aber wechseln. Die Verschiedenheit wird bei 3 Proc. mehr oder weniger Wasser schon so groß, daß, während der Mörtelbrei noch gleich schlank aus der Kelle herausgeht und der Kuchen noch nicht auffallend dickere oder dünnere Ränder zeigt, die Abbindezeiten schon bedeutend abweichen. Nur wenn die Menge des Anmachewassers bestimmt würde, wird man an zwei Orten bei demselben Cement dieselbe Abbindezeit finden. Eine bestimmte Menge Wasser fest zu stellen, hat aber insofern Schwierigkeiten, als die Cemente ganz verschiedene Mengen Wasser bedürfen, um gleichmäßig flüssig zu sein (s. S. 266).

Wie S. 232 schon bemerkt wurde, ist die werthvollste Eigenschaft der hydraulischen Mörtel für ihre praktische Verwendung eigentlich die Druckfestigkeit; sie ist es, die insgemein bei Hochbauten, bei außergewöhnlichen Belastungen, bei Wölbungen, ferner bei den jetzt so vielfach in Anwendung kommenden Constructionen von Pfeilern, die eiserne Balken, Bogen und Dächer tragen, in Anspruch genommen wird.

Die deutschen Normen für die Prüfung von Portlandcement, welche sich lediglich auf den Zweck beschränken, Cemente unter sich zu vergleichen, schreiben nur die Zugfestigkeit vor. Der Grund hierfür liegt einestheils in der Umständlichkeit und Kostspieligkeit der Druckproben und anderntheils in der Annahme, daß aus der praktisch ermittelten Zugfestigkeit eines Portlandcementes ein

---

[1] Thonind.-Ztg. 1879, S. 122.

[2] Ebend. 1882, S. 314. Wagner's Jahresb. d. chem. Techn. 1882, S. 646.

Schluß auf die Druckfestigkeit desselben immerhin gezogen werden kann, da bei Portlandcement die Zug- zur Druckfestigkeit in einem gleichbleibenden Verhältnisse steht.

Handelt es sich aber darum, den Werth auch anderer Wassermörtel ebenfalls nach der Zugfestigkeit zu bestimmen und namentlich die Zugfestigkeit zum Vergleich verschiedener Mörtel zu benützen, so ist zu bemerken, daß bei den anderen Mörteln die Druckfestigkeit zur Zugfestigkeit in einem anderen Verhältnisse wie bei Portlandcement steht.

In einer über einen längeren Zeitraum sich erstreckenden Versuchsreihe mit fünf verschiedenen Portlandcementen, Romancement und Traß mit hydraulischem Kalk wurde von R. Dyckerhoff festgestellt[1]), daß bei den fünf Portlandcementproben, selbst bei Verschiedenheit des Sandes, die Druckfestigkeit jeweils etwa das 10fache der Zugfestigkeit betrug, während bei sehr gutem Romancement (Grenobler) und bei Traßmörteln (3 Vol. bester Bockumer Wasserkalk, 4 Vol. Traß, 2 Vol. Sand, sowie ferner bei einer zweiten Mischung aus gleichen Volumtheilen derselben Materialen) nur etwa das 6fache erreicht wurde. Die Proben auf Zugfestigkeit wurden den Normen entsprechend ausgeführt, diejenigen auf Druckfestigkeit unter gleichen Bedingungen wie dort an Würfeln von 10 cm Seite.

Daß bei verschiedenen Mörteln dieses Verhältniß ein anderes ist, dürfte aus Folgendem seine Erklärung finden: Wenn man aus Portlandcementmörtel mit einem stärkeren Wasserzusatz, als die Normen vorschreiben, Zug- und Druck-Probekörper anfertigt und die Festigkeit derselben bestimmt, so findet man, daß beide Festigkeitsarten geringer werden, daß aber die Druckfestigkeit stärker abnimmt als die Zugfestigkeit. Es scheint also, daß die Druckfestigkeit mehr von der Dichte des Mörtels abhängt, als die Zugfestigkeit. Aus ähnlichen Gründen wird bei mageren Portlandcementmörteln durch Zusatz von Kalk, in Folge der entstehenden größeren Dichte, die Festigkeit gesteigert, aber auch hier die Druckfestigkeit in höherem Grade, als die Zugfestigkeit.

Wenn also schon bei einem und demselben Material das Verhältniß zwischen Zug- und Druckfestigkeit durch Aenderung der Dichte des Mörtels verändert werden kann, so ist es leicht verständlich, daß bei anderen Mörteln das Verhältniß von Zug und Druck, je nach ihrer Dichte, ein wesentlich anderes sein kann, als bei Portlandcementmörteln.

Es sollte bei Vergleich verschiedenartiger Mörtel daher immer die Druckfestigkeit benutzt werden. Hierbei ist für den richtigen Vergleich von Zug und Druck, jedenfalls eine Hauptbedingung, daß die Probekörper für beide Festigkeitsbestimmungen auf die gleiche Weise angefertigt und behandelt werden[2]).

Bei Bestimmung der Druckfestigkeit bediente man sich bisher ausschließlich der Würfelform von 10 cm Höhe. Dyckerhoff fand hierbei, selbst

[1]) Deutsche Bauzeitung 1878, Nr. 7. Wagner's Jahresb. d. chem. Techn. 1878, S. 693.

[2]) Deutsche Bauzeitung 1881, S. 262. Wagner's Jahresb. d. chem. Techn. 1881, S. 549.

bei sorgfältigster Herstellung der Proben, bei wiederholter Prüfung eines und desselben Cementes große Differenzen in den Festigkeitszahlen, während er bessere Uebereinstimmung erzielte, wenn er die Zugprobekörper auf Druck prüfte. Daraus schloß er, daß die Differenzen in der Art der Anfertigung der großen Probewürfel liegen.

Dyckerhoff benutzt daher zur Bestimmung der Druckfestigkeit kreisförmige Platten von gleicher Dicke wie die Normenform und 40 qcm Oberfläche, statt der Würfelformen von 10 cm Höhe, weil Platten von dieser Größe sich ganz so anfertigen, d. h. bis zum Elastischwerden in die Formen einschlagen lassen, wie die Zugprobekörper. Derselbe ist der Ansicht, daß an solchen Platten ermittelte Druckfestigkeitszahlen den richtigsten Vergleich über den Werth verschiedener Mörtel gestatten, nur müßten die Mörtel immer mit so viel Wasser angemacht werden, daß dieselben beim Einschlagen in die Zug- und Druckformen ebenso elastisch werden, wie bei der Normenprüfung; auch müssen die eingeschlagenen Probekörper bis zur Prüfung ebenfalls stets nach den Vorschriften der Normen behandelt werden, also nach 24 Stunden, bei Traßmörtel nach 48 Stunden unter Wasser verbracht werden. Dyckerhoff fand an kreisförmigen Platten von angegebener Größe die Festigkeit für den Quadratcentimeter ungefähr doppelt so hoch, als bei Würfeln, so daß bei Portlandcementproben nach den Normen ausgeführt und bei kreisförmigen 40 qcm Oberfläche habenden Portlandcementkörpern die an letzteren vorgenommene Druckfestigkeit etwa das 20fache der durch die Normen erreichten Zugfestigkeit beträgt, bei Traßmörteln (aus Traß, hydraulischem Kalk und Sand zu gleichen Volumtheilen bestehend) etwa das 12fache und bei Portlandcement-Kalkmörteln mit hohem Sandzusatze das 20- bis 30fache. Man darf aber niemals vergessen, daß die Prüfung der Mörtel mit wenigen Ausnahmen nur ein Urtheil über den relativen Werth der Mörtel gestattet und die gefundenen Festigkeitszahlen nicht direct auf die Praxis übertragen werden dürfen, weil man hier unter anderen Verhältnissen (des Sandes, Wasserzusatzes 2c.) arbeitet und überdies die Festigkeit wesentlich von der Gestalt des erhärteten Mörtels (ob in dünner Lagerfuge, Blöcken 2c.) abhängt.

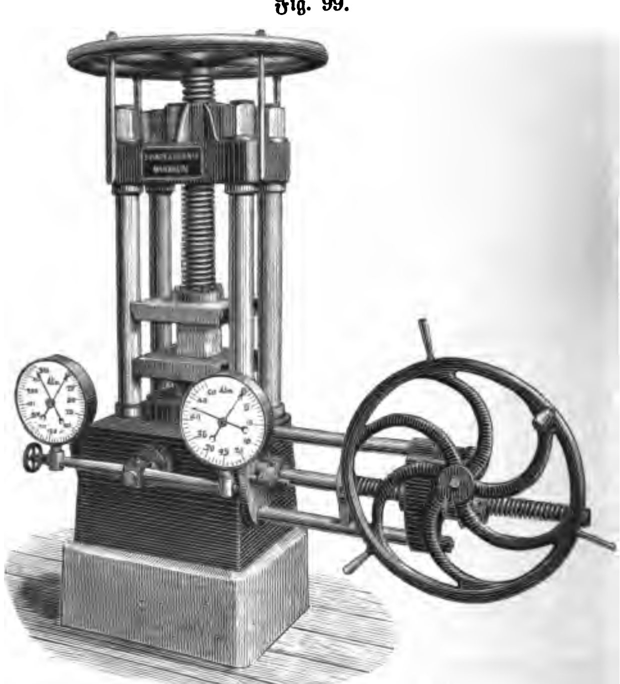
Daß zum Vergleich der Bindekraft verschiedener hydraulischer Mörtel nur die Druckfestigkeit maßgebend sein kann, geht auch aus den werthvollen und umfassenden Versuchen hervor, welche Prof. Tetmayer, Vorstand der eidgenössischen Station zur Prüfung von Baumaterialien in Zürich, aus Anlaß der schweizerischen Landesausstellung 1883 mit einer großen Anzahl von hydraulischen Kalken, Roman- und Portlandcementen ausgeführt und veröffentlicht hat. Auch von Frühling wird darauf hingewiesen, daß die Zugprobe für die Beurtheilung verschiedenartiger Cemente werthlos ist, indem hierbei viele Romancemente, sobald es sich um die Sandprobe handelt, oft die besten Portlandcemente in den Schatten stellen.

In der Generalversammlung des Vereins deutscher Cementfabrikanten (1884) wurde diese Frage ebenfalls einer eingehenden Erörterung unterzogen und es wurde vom genannten Verein der Beschluß dahin gefaßt: „Als maßgebende Festigkeitsprobe für hydraulische Bindemittel kann nur die Druck-

probe betrachtet werden, während die Zugprobe nur als Qualitäts-probe für die Gleichmäßigkeit der Waare gelten soll."

Zur Bestimmung der Druckfestigkeit der hydraulischen Mörtel bedient man sich in neuester Zeit fast allgemein der hydraulischen Pressen, von welchen namentlich die Werder'sche Universalmaschine in größeren Prüfungsanstalten (z. B. im mechanisch-technischen Laboratorium der königlichen technischen Hochschule in München) angewendet wird [1]). Eine kleinere und bedeutend billigere hydraulische Presse ist von Dr. Michaëlis construirt worden [2]). Von ähnlicher Construction ist die hydraulische Presse von Brinck & Hübner in Mannheim, welche in Fig. 99 abgebildet ist. Der Druck wird erzeugt durch Einpressen

Fig. 99.



einer Spindel (der direct angetriebenen Spindel) in einen engen, mit Wasser, Oel oder Glycerin gefüllten Cylinder, der mit dem eigentlichen Preßcylinder innen mit den Manometern in Communication steht.

Bei dem Apparat zur Bestimmung der Druckfestigkeit von H. Schickert in Dresden (D. R.-P. Nr. 18790 vom 22. Januar 1882 [3]),

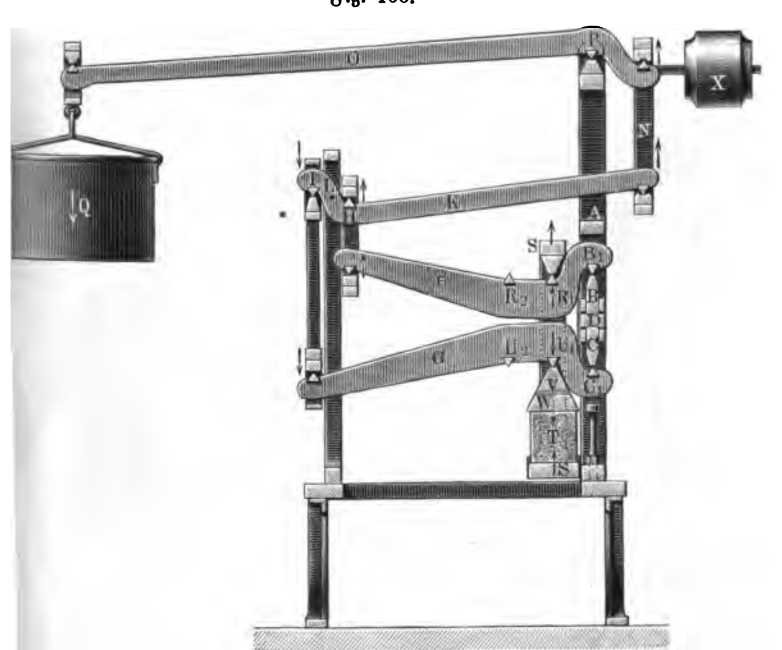
[1]) Kronauer's Zeichnungen von Maschinen zc. IV. Bd., 7. u. 8. Lieferung.
[2]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrik. v. Ziegeln zc. 1875, S. 86.
[3]) Wagner's Jahresb. d. chem. Techn. 1882, S. 655.

icher für Probestücke bis zu 1 Kubikdecimeter Inhalt und 50 Tonnen Wider=
nd bestimmt ist, wird die Uebertragung des Druckes auf das zu prüfende
aterial von einem Gewichte Q mittelst einer Anzahl von Hebeln bewirkt, welche
e 250= bezw. 500fache Uebersetzung gestatten. Die Einrichtung dieses Appa=
es ist aus den Figuren 100 bis 103 ersichtlich.

Der durchbrochene Ständer A enthält zwei Pfannenlager B und C, deren
es nach oben sich öffnet, das andere nach unten. Beide Lager schließen sich
den Keil D an, welcher durch die Schrauben E^1 und E^2 verschoben werden
in, um die beiden Lager zu nähern oder von einander zu entfernen.

In die Pfannen dieser beiden Lager legen sich die beiden rechtsseitigen Achsen
Hebel F und G ein (Fig. 100), während die linksseitigen Endachsen dieser

Fig. 100.



iden Hebel mit den Achsen H und J des Hebels K durch Pfannengehänge ver=
nden sind. Der Hebel K findet durch einen Stift L nur Schutz gegen seit=
he Verschiebung und Stützung bei Nichtgebrauch des Apparates.

Das rechtsseitige Ende des Hebels K ist durch ein Pfannengehänge N mit
n rechten Arme des Hebels O, welcher um die Pfanne P schwingt, verbunden,
ährend am linken Arme der Eimer Q hängt.

Der Hebel F trägt auf seiner nach oben gerichteten Achse R^1 das Gehänge S,
welches unten der zu prüfende Körper T eingelegt wird. Die Achse U^1 des
ebels G, welcher frei durch das Gehänge S hindurchgeführt ist, drückt mittelst
s kreuzschneidigen Stückes V auf die Platte W, welche unmittelbar auf den

Probekörper T zu liegen kommt (Fig. 102 und 103). Das Gegengewicht X dient zur Ausgleichung des Gewichtes innerhalb des freischwingenden, noch nicht belasteten Hebelsystemes.

Wird nun, nachdem der Versuchskörper eingelegt ist, die Entfernung der Achsen B^1 und C^1 durch Eintreiben des Keiles D vermehrt, so wird das Probestück zwischen S und W gespannt und der Eimer Q wird gehoben, das Probestück also dann mit einem Drucke belastet, welcher dem Gewichte des Eimers Q entspricht.

Fig. 101.

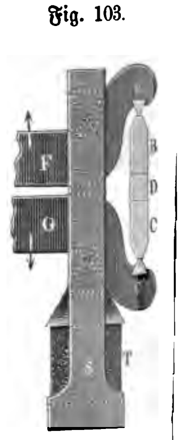


Belastet man den Eimer bei vorheriger genügender Anspannung der Lager B und C weiter, bis der Bruch des Versuchsstückes eintritt, so ergiebt sich aus dem dazu erforderlich gewesenen Gewicht des Eimers und aus den Hebelverhältnissen der zur Zerstörung nöthige Druck.

Fig. 102.



Fig. 103.



Die Uebertragung der angehängten Last Q auf das Probestück erfolgt hier im Verhältniß von 1 : 500.

Um bei leichteren Probestücken mit demselben Apparate zu größerer Genauigkeit auch mit geringerer Hebelübersetzung arbeiten zu können, ist noch ein zweites Achsenpaar R^2 und U^2 den Hebeln F und G eingefügt, zur Aufnahme des Gehänges S in solchem Falle, wodurch hier die Hebelübersetzung in 1 : 250 gemindert wird.

Manche Cemente zeigen bei der praktischen Anwendung oft eine sehr günstige Erscheinung, das Treiben oder Quellen, indem sie im Verlaufe der Erhärtung anfangen, ihr Volumen zu vergrößern, wobei dann unter Mürbewerden der Masse ein Bersten, Reißen, Abblättern und Zerbröckeln eintritt.

Das Treiben oder Quellen des Cementes leitet Michaëlis von einer nachträglichen Volumenvergrößerung ab, und es wurden von ihm seinerzeit vornehmlich drei Ursachen angegeben, welche er bestimmt erkannt zu haben glaubte, nämlich:

1) zu hoher Kalkgehalt des Cementes;
2) das Vorhandensein einer gewissen Menge von schwefelsaurem Kalk oder zu dessen Bildung Anlaß gebender Verbindungen (Schwefelcalcium);
3) sehr ungleiches, besonders sehr grobes Pulver[1].

In einer später veröffentlichten ausführlichen Arbeit über die Beurtheilung des Cementes führt derselbe näher aus, wodurch das Treiben verursacht wird.

Nach Michaëlis[2]) ist das Treiben der in Erscheinung tretende Ausdruck von Molekularspannungen. Eine Molekularspannung liegt an und für sich schon im gebrannten Cement, und zwar deshalb, weil die im Feuer gebildeten Verbindungen beim Erkalten sich in einem Zwangszustande befinden, wie wir einen solchen bei fast allen künstlich erzeugten Silicaten mehr oder weniger finden, hier aber in einem sehr hohen Grade vor uns haben. Beim Cement gesellt sich dem physikalischen Spannungszustande noch ein chemischer bei.

Der erstere, der physikalische Spannungszustand der Moleküle, kommt am stärksten zum Ausdruck bei gewissen, der richtigen Mischung nahen, im Thongehalt etwas zu hohen Mischungen und veranlaßt das spontane, totale Zerfallen der sich abkühlenden, gebrannten Massen. Derselbe kommt auch zum Ausdruck am gemahlenen Cement, welcher durch weiteres Zerfallen der Körner sein Volumen vermehrt und die Fässer auftreibt.

Der chemisch-physikalische Spannungszustand des gebrannten Cementes ist eine seiner werthvollsten Eigenschaften; sie bedingt die prompte Erstarrung und die Erhärtung des mit Wasser angerührten Cementes in erster Linie. Die geringe chemische Action des Wassers genügt, die innerliche Spannung der Massentheilchen so zu erhöhen und zu erregen, daß eine entsprechende Umlagerung der Moleküle im chemischen, wie im physikalischen Sinne vor sich gehen kann. Verläuft dieser Proceß der Umlagerung — der Erhärtungsproceß — in der Weise, daß der durch Hydratbildung gewonnene Zusammenhang der mehr und mehr fortschreitenden Bildung und Ablagerung von Kalkhydratkrystallen einen genügenden Widerstand zu leisten nicht im Stande ist, so tritt Beeinträchtigung der Festigkeit, Zerstörung des Zusammenhanges — Treiben — ein.

Die Ausscheidung von Kalkhydrat kann, wenn sie durch Freiwerden von Kalk aus einer kalkreicheren, im Feuer gebildeten Verbindung bedingt ist, nur allmälig von Statten gehen, nur nach Maßgabe der Zerlegung der ursprünglich erzeugten Verbindung unter dem Einflusse des Wassers. Deshalb wird das Treiben, wo es auftritt, immer am promptesten da sich geltend machen, wo der chemische Proceß der Umsetzung am wirksamsten von Statten geht; also bei den

---

[1]) Die hydraul. Mörtel, insbesondere der Portlandcement &c. 1869, S. 219.
[2]) Notizbl. f. Fabrik. von Ziegeln &c. 1875, S. 247.

unter Wasser versenkten Proben viel früher als bei den Luftproben; bei Wärme eher, als bei gewöhnlicher Temperatur. Wird Cement mit heißem Wasser angemacht, so erlangt derselbe eine geringere Festigkeit, und zwar deshalb, weil derselbe zunächst — ganz wie der schnellbindende Cement, einen rapideren Proceß abwickelt.

Schnellbindende Cemente geben porösere Cementgußstücke als langsambindende, welche sich selbst überlassen, förmlich Wasser ausstoßen, während erstere es in bedeutender Menge in sich fest machen, d. h. in den Poren einhüllen. Findet das sich ausscheidende Kalkhydrat überall weite Porenräume, so ist die Hauptursache des Treibens — gewaltsame Einpressung — nicht vorhanden. Die Hohlräume reichen aus, die Krystalle aufzunehmen, die diese Räume bildenden Massentheile werden eher mit einander verbunden, als aus einander gespreizt, und die Festigkeit kann in Folge selbst noch zunehmen, wenn schon nicht in sehr hohem Grade. Das ist der Fall bei schnellbindenden Cementen, wozu noch kommt, daß diese Cemente überhaupt in ihrer Zusammensetzung erheblich kalkärmer sind.

Langsam bindende, schwere Cemente brauchen an sich weit weniger Wasser, um einen Brei normaler Consistenz zu geben, vergleichsweise 25 bis 30 Thle. gegen 40 bis 50 bei schnellbindenden Cementen und stoßen selbst von diesen 25 bis 30 Thln. (auf 100 Thle. Cement) Wasser bei der Zusammenrüttelung noch einen guten Theil aus. Die absolute Raumerfüllung ist mithin bei den langsamen Cementen bedeutend größer, das specifische Gewicht zudem höher und außerdem weit mehr Kalk in der Verbindung, also auch mehr Kalk für die treibende Wirkung disponibel. Hieraus ist erkenntlich, weshalb hoher Kalkgehalt eine der Ursachen des Treibens ist.

In Betreff des Gypses bemerkt Michaëlis[1]): Erhitzt man Gyps auf eine sehr hohe Temperatur, so wird er in Anhydrit verwandelt und nimmt zunächst kein Wasser auf. Läßt man denselben jedoch lange Zeit mit Wasser in Berührung, so sieht man allmälig die Einwirkung des Wassers und die Regeneration von Gyps vor sich gehen; dazu sind manchmal vier bis sechs Wochen erforderlich. Befindet sich nun schwefelsaurer Kalk in der gebrannten Cementmasse, so wird derselbe, da er einer sehr hohen Temperatur ausgesetzt gewesen, ebenfalls erst nach sehr langer Zeit in Gyps sich verwandeln. Oder aber präexistirender schwefelsaurer Kalk wurde im Feuer in Calciumsulfuret übergeführt, welche Verbindung später, aber gleichfalls nur sehr allmälig in Gyps übergeht.

Mit dem Uebergange in Gyps ist nun aber stets eine beträchtliche Volumenvermehrung verknüpft. Die Bildung einer gewissen Menge Gyps muß daher, da sie erst dann erfolgt, wenn die Masse längst einen festen Zusammenhang gewonnen hat, für diesen verderblich werden. Versuche von Michaëlis ergaben, daß schon 3 Proc. Gyps im Stande sind, den Zusammenhang der Masse zu beeinträchtigen; es trat dabei nach drei Monaten ein allerdings äußerst geringes Treiben ein. Dieses stimmt auch mit den Beobachtungen von Schott überein (s. S. 179).

[1]) Die hydraul. Mörtel &c., S. 221.

Was nun den dritten Punkt anlangt, sehr ungleiches, besonders sehr grobes Pulver, so ist zu erwägen, daß Treiben eintreten muß, wenn eine hinreichende Volumenvergrößerung stattfindet, nachdem die Masse schon einen festen Zusammenhang gewonnen hat, daher es sehr nahe liegt, daß man den Cement, besonders wenn man es mit scharf gebranntem zu thun hat, in ein feines Pulver verwandeln müsse, um dadurch einen möglichst gleichmäßigen Gang der Wasseraufnahme, also einen gewissen Parallelismus der Reactionen und Molekularänderungen herbeizuführen, und daß vor Allem ein Pulver sehr ungleicher Feinheit von schädlichen Folgen sein müsse.

Enthält daher der Cement gröbere Körner, so vermögen diese nur sehr allmälig vom Wasser zersetzt zu werden; oft vergehen Monate, ehe dasselbe bis zum Kern derselben vorzudringen vermag. Michaëlis hat beobachtet, daß Treiben in Folge sehr ungleichen und groben Pulvers erst nach 75 bis 100 Tagen eintrat; meist ist indeß die dadurch herbeigeführte Volumenveränderung nur sehr gering und für die Praxis wenig gefährlich.

W. Wolters (in Leverkusen bei Köln), welcher Untersuchungen über das Treiben der Cemente angestellt hatte, spricht sich hierüber wie folgt aus[1]: Um eine klare Vorstellung von dem Vorgange der Cementation, der Erhärtung und Zusammenwachsung pulverförmiger Massen unter dem Einflusse von Luft und Wasser zu erhalten, muß man sich die Bedingungen vergegenwärtigen, durch welche das Aneinanderhaften fester Körper erreicht wird. Das allen Erhärtungsprocessen Gemeinsame ist die Vergrößerung der Berührungsflächen der Theilchen. Berührung und festes Zusammenhalten stehen stets im Verhältniß zu einander. Sämmtliche chemische und physikalische Vorgänge, durch welche eine Cementation erreicht wird, laufen auf eine Vergrößerung der Berührungsflächen hinaus. Bei den Cementen sind die Vorgänge, durch welche eine Vergrößerung der Berührungsfläche erreicht wird, dreierlei Art: 1) Druck von außen, 2) Vergrößerung des Volumens einzelner Bestandtheile, und 3) Dislocation einzelner Theilchen, hervorgebracht durch die Löslichkeit derselben unter Mitwirkung der Anziehung und Krystallisation.

Ein Druck von außen wird bei Cementen vielfach in Anwendung gebracht durch Schlagen, Bearbeitung mit der Kelle 2c. Durch den Druck wird zugleich eine Verkleinerung der Zwischenräume erzielt, welche die beiden anderen Wirkungen erhöht. Die Vergrößerung der Berührungsfläche durch Zunahme des Volumens einzelner Theile ist bei den Cementen eine bedeutende. Hierbei findet eine Pressung statt, besonders an den Stellen, wo die Zwischenräume klein sind und dadurch wird eine innigere Berührung hervorgebracht. Die Volumenvermehrung wird bei den Cementen durch die Aufnahme von Wasser und Kohlensäure bewirkt. Daß der dritte Vorgang, die Dislocation einzelner Bestandtheile eine Masse verkittet und eine Zunahme der Festigkeit bewirkt, erklärt sich durch die Annahme, daß die löslichen Theile nach günstigeren Stellen transportirt werden, wo die

---

[1] Dingl. pol. J. **214**, 392. Wagner's Jahresb. d. chem. Techn. 1875, S. 752. Jahresb. über die Fortschritte der Chemie 1874, S. 1128.

Theile bereits am dichtesten lagen, so daß also die erheblichste Vergrößerung der Berührungsfläche erreicht wird.

Von den drei angeführten Vorgängen ist für die Cemente die durch Bindung von Wasser und Kohlensäure bedingte Volumenzunahme am wirksamsten. Ist nicht genug Raum für die durch Aufnahme von Wasser und Kohlensäure bedingte Volumenvergrößerung vorhanden, so wird das Cementstück zertrümmert, der Cement treibt.

Wolters erwähnt Versuche, welche er über Scott'schen Cement anstellte, und aus denen hervorging, daß ein in hohem Grade treibender derartiger Cement diese Eigenschaft am wenigsten zeigte, am langsamsten hervortreten ließ, wenn man ihn in grobem Pulver verwendete und durch Benutzung von viel Wasser beim Anmachen die erhärtende Masse locker erhielt. Aehnliche, wenn auch nicht so deutlich ausgesprochene Beobachtungen machte Wolters an Portlandcement.

Bei Anwendung von grobem Pulver kommt der Kern der Körner nicht mit dem Wasser in Berührung, nimmt also an den Erhärtungsprocessen keinen Antheil. Das ist wenigstens der Fall, wenn der Cement in Wasser unlöslich ist. Enthält er aber überschüssigen Kalk, so wird dieser vom Wasser gelöst, immer mehr tritt das Wasser an die Stelle vom Kalk in das Innere der Körner ein, eine immer größere Menge des Materials nimmt Wasser auf, und bald wird der freie Raum zu klein, um die Volumenvergrößerung aufzunehmen; der Cement treibt. In dieser Weise suchte Wolters die treibende Wirkung des Kalkes zu erklären. — Beim Erhärten des mit Wasser angemachten Cementes verdunstet Wasser, dadurch ist eine Volumenabnahme bedingt. Dieser wirkt die obige Volumenvermehrung entgegen. Diese beiden Processe müssen so verlaufen, daß sie gleichzeitig auftreten, in ihren Wirkungen sich aufheben. Tritt das Trocknen zu rasch, die Volumenvermehrung zu spät auf, so wird auch dadurch ein Treiben des Cementes bewirkt.

Aus Dolomit hergestellte Portlandcemente scheinen besonders empfindlich in Bezug auf das „Treiben" zu sein. Erdmenger[1]) erhielt bei zahlreichen damit angestellten Proben immer treibende Cemente, sobald der Kalkzusatz wesentlich von dem 1,9- bis 2,1 fachen der als Säure wirksamen Bestandtheile (Kieselsäure, Thonerde und Eisenoxyd) abwich. Es können jedoch diese Beobachtungen nicht als allgemein gültig angesehen werden, da hierbei die übrigen Bedingungen, Temperatur beim Brennen, Menge des Wassers und Behandlung beim Anmachen nicht gehörig berücksichtigt wurden.

Vielfach wird angenommen, daß ein rasch angehender und sich erheblich erwärmender Cement meist auch gleichzeitig ein treibender sei; dies wird von Erdmenger[2]) widerlegt. Daß Erwärmen des Cementes noch kein Treiben bedingt, geht daraus hervor, daß man mit dem Thongehalt immer höher gehen kann, so daß also bei inniger Mischung von Treiben immer weniger die Rede sein kann, und doch das Erwärmen meist nicht beseitigt wird. Uebrigens kommen bei treibenden wie bei nicht treibenden Cementen alle Temperaturerhöhungen von

---

[1]) Dingl. pol. J. 209, 286.
[2]) Ebend. 215, 546.

0° bis 14° und ebenso alle Ansaugezeiten von etwa 10 Secunden bis viele Stunden vor. Nach Erdmenger ist dagegen ein Cement von relativ hohem Kalkgehalt, der frisch selbst einige Stunden nach dem Anmachen gar keine oder nur geringe Erwärmung zeigt, in Bezug auf Treiben stets mit Mißtrauen zu betrachten; derselbe dürfte in den meisten Fällen ein treibender sein.

Um den Cement auf die Eigenschaft des Treibens zu prüfen, sind verschiedene Methoden in Vorschlag und zur Anwendung gebracht worden. Früher benutzte man sehr häufig die sogenannte Glasprobe, welche darin bestand, daß man in ein dünnwandiges Gläschen Cementbrei hineingoß, erhärten ließ und beobachtete, ob das Gläschen durch Volumenveränderung gesprengt wurde. Da diese Probe sich nicht als stichhaltig erwies, indem dadurch auch an sich tadellose Cemente in den Verdacht des Treibens kamen, indem die einfache Ausdehnung des Cementstückes, ohne daß das innere Gefüge und der Zusammenhang der Masse sich ändert, schon ein Zerspringen des Glases verursachen kann, so wurde diese Methode, und zwar mit Recht, verlassen [1]).

Eine andere Probe, die sogenannte Darrprobe, bestand darin: man ließ den Cement abbinden und erhitzte ihn sofort auf bis 100°, auch 110°; jeder Treiber geht dabei aus einander, und zwar um so stärker, je stärker seine Neigung zum Treiben war und insofern ist die Probe stichhaltig; aber von Michaëlis [2]) wurde nachgewiesen, daß auch nicht treibende, sonst ganz vorzügliche Cemente dabei zu Grunde gehen und insofern ist daher diese Probe durchaus unzulässig.

Nach den deutschen Normen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandcement wird die Beobachtung der Kuchen empfohlen, welche zur Bestimmung der Bindezeit auf Glastafeln oder Dachziegel ausgegossen werden und welche, unter Wasser gelegt, auch nach längerer Beobachtungszeit durchaus keine Verkrümmungen oder Kantenrisse zeigen dürfen. Bei dieser Ausführung der Probe auf Treiben des Cementes ist aber sehr zu berücksichtigen, daß Cementkuchen, die zu früh ins Wasser gelegt werden, leicht Risse bekommen, welche von weniger Geübten für Treibensrisse gehalten werden können. Aehnliche Risse bringen auch Zugluft und Sonnenschein bei ihrer Einwirkung während des Abbindens hervor, was ebenfalls zu irrthümlicher Beurtheilung Anlaß geben kann. Dieses Reißen durch Zugluft und Sonne ist allen Cementen nach Schumann's [3]) Versuchen eigen und eine Folge der ungleichmäßigen Schwindung der oberen trocknenden und unteren nassen Theile des Kuchens und es zeigt sich hauptsächlich bei langsam bindenden Cementen.

Die durch Treiben hervorgebrachten Risse klaffen aber immer am weitesten am Rande des Kuchens, haben eine centrale Richtung und eine gewisse Regelmäßigkeit, die Luftrisse dagegen verengen sich nach den Kanten zu, zeigen unregelmäßige, oft in sich selbst zurücklaufende Curven.

Beachtenswerth ist auch, daß fast sämmtliche Cemente in einem gewissen Stadium der Erhärtung eine gewisse Ausdehnung erleiden, welches Wachsen

---

[1]) Thonind.-Ztg. 1877, S. 344. Wagner's Jahresb. d. chem. Techn. 1877, S. 603.
[2]) Notizbl. f. Fabrik. von Ziegeln &c. 1875, S. 250.
[3]) Ebend. 1880, S. 112. Wagner's Jahresb. d. chem. Techn. 1880, S. 515.

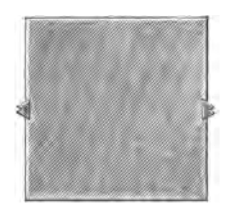
aber mit dem Treiben nichts gemein hat. Diese Volumenveränderung ist dadurch begründet: Das Cementmehl des Handels ist ein Gemenge chemisch gleichartiger, physikalisch aber sehr ungleichartiger Partikelchen. Nur 50 bis 60 Proc. desselben ist wirklich feines Staubmehl, das ein Sieb von 5000 Maschen pro Quadratcentimeter passirt; 30 bis 20 Proc. ist feines Pulver, das auf diesem Siebe zurückgehalten wird, aber durch ein Sieb von 900 Maschen pro Quadratcentimeter geht und der Rest von 20 Proc. ist gröberes Pulver, welches auf dem 900-Maschensieb liegen bleibt.

Naturgemäß werden die feineren Partien beim Anmachen des Cementes mit Wasser der Hydratisation zuerst unterliegen und einen festen Cementkörper gebildet haben, ehe die feinen und groben Körner durch Wasser auch nur oberflächlich angegriffen sind. Tritt dann im Laufe der Zeit eine Zersetzung der gröberen Theilchen ein, erlangen sie das Bestreben zu zerfallen, so ist eine Volumenvermehrung und ein Druck nach allen Seiten hin unausbleiblich. Durch dieses Drücken, eines der schätzenswerthesten Eigenschaften des Portlandcementes, werden die anfangs zu locker sich berührenden Theilchen genähert, und es wird bei gleichzeitig fortschreitender Hydratisirung ein vollständiges Verwachsen derselben, ein Versteinen des Cementes bewirkt.

Die Wirkung, welche das Dehnungsvermögen hervorbringt, wird vollständig nur dann zur Geltung kommen, wenn der Cement feucht gehalten wird. Bei einem Gußstück nämlich, welches ausschließlich in der Luft gehalten wird, tritt in Folge der Verdunstung anfänglich gebundenen Wassers ein geringes Schwinden ein, und es kann so der Fall eintreten, daß Schwinden und Dehnen sich gegenseitig der Art ergänzen, daß ein vollkommenes Volumeneinhalten resultirt[1]).

Prof. Bauschinger[2]) hat neun Cemente auf ihre Volumenbeständigkeit auch direct dadurch untersucht, daß er an geeigneten Probestücken eine Dimension mittelst eines hinreichend feinen Meßapparates wiederholt, anfangs in kürzeren, dann in längeren Zwischenräumen gemessen hat.


Fig. 104.



Als Probestücke nahm er die Würfel von 12 cm Seite, welche, je fünf an der Zahl, aus jedem Cement und jedem Mischungsverhältniß für die höchste, sechste Altersstufe durch Einstampfen hergestellt worden waren, und von denen immer je drei an der Luft und zwei im Wasser erhärteten. Um an diesen Würfeln eine Dimension zu fixiren, wurde 24 Stunden nach ihrer Anfertigung in den Mitten zweier gegenüberliegenden Seitenflächen je ein kleiner abgestumpfter Conus aus Messing von circa 3 bis 4 mm Höhe so eingekittet, daß seine circa 10 mm im Durchmesser haltende Basis nach innen gekehrt war und die kleine Deckfläche, deren Durchmesser nur 2 mm betrug, etwas aus der Seitenfläche des Würfels hervorragte (Fig. 104). Das Einkitten geschah mit demselben Cement,

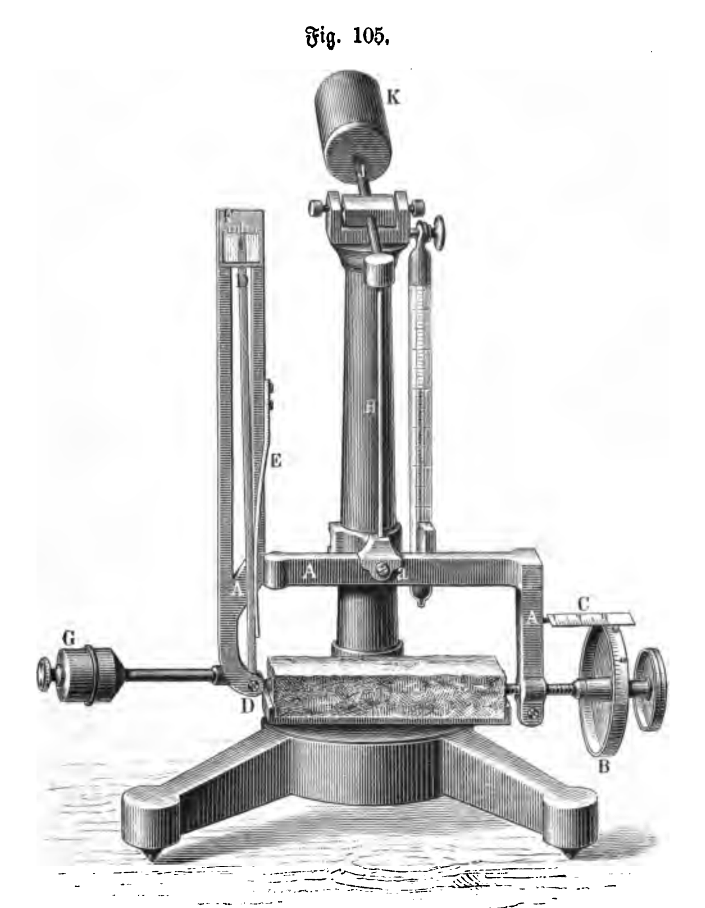
[1]) Heintzel, Thonind.-Ztg. 1877, S. 344 u. 353. Wagner's Jahresb. d. chem. Techn. 1877, S. 603.

[2]) Mittheilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der techn. Hochschule in München, 8, 13. Wagner's Jahresb. d. chem. Techn. 1880, S. 507.

aus dem der Würfel angefertigt war. Ein paar Stunden nach dem Einkitten konnten die ins Wasser gehörigen beiden Würfel schon an ihren Platz gelegt werden; die Messungen wurden aber erst 24 Stunden hernach, also 48 Stunden nach der Anfertigung begonnen, um sicher zu sein, daß die Conusse fest genug steckten und sanfte Berührungen mit dem Meßinstrument vertragen konnten.

Das Meßinstrument von Bauschinger ist folgendermaßen eingerichtet (Fig. 105): An dem einen Schenkel eines Bügels *AA* von Messing befindet sich

Fig. 105.



die Mutter für eine feine Mikrometerschraube, für welche auf der Trommel *B* noch $^1/_{100}$ Umdrehungen gemessen und Zehntel dieser Theile, also $^1/_{1000}$ Umdrehungen geschätzt werden konnten. Die ganzen Umdrehungen zeigt die Theilung *C*. Am anderen Schenkel des Bügels befindet sich die Drehungsachse eines Fühlhebels *DD*, dessen kurzer Arm in eine stumpfe Stahlspitze endigt, während der längere, einen Index tragende Arm von einer Feder *E* stets nach links gedrängt

wird. Diese Feder findet ihre Stütze an einer rahmenartigen Fortsetzung des linken Bügelschenkels nach oben hin, an welchem Rahmen auch eine kleine Theilung *F* mit markirtem Mittelstrich angebracht ist.

In eine ähnliche stumpfe Spitze, wie der kleine Arm jenes Fühlhebels, endigt die Mikrometerschraube, und beide Spitzen legen sich beim Gebrauch des Instrumentes in entsprechende Körner, welche in die kleinen, etwas hervorstehenden Deckflächen der eingekitteten Conusse eingebohrt sind. Um aber dieses Anlegen der Spitzen ohne seitlichen Druck bewerkstelligen zu können, ist der, mittelst des Gegengewichts *G* ausbalancirte Bügel in der Mitte seines Quersteges mittelst eines dünnen Messingstäbchens *H* an dem einen Ende eines Wagebalkens *J* so aufgehängt, daß er nach beiden Seiten hin und auch auf- und abwärts leicht beweglich ist; zu dem Ende bewegt sich das Messingstäbchen *H* an beiden Enden in Kugelgelenken und der Bügel selbst noch zwischen zwei Spitzenschräubchen *aa* um eine horizontale Achse, während am anderen Ende des Wagebalkens *J* das verschiebbare Gewicht *K* den ganzen Bügel nebst Aufhängevorrichtung balancirt.

Auf diese Weise ist es möglich, das Instrument, wenn nöthig, unter gleichzeitiger Drehung der Mikrometerschraube, so an den Probewürfel anzulegen, wie oben gesagt wurde. Darauf wird dann die Mikrometerschraube so weit vorwärts bewegt, bis der längere Arm des Fühlhebels auf der anderen Seite auf den markirten Mittelstrich der Theilung einspielt. Man ist dann sicher, daß die Stahlspitzen der Schraube und des Fühlhebels mit einem bestimmten, der Stärke der Feder *E* entsprechenden Druck gegen ihre Körner gedrückt werden und kann dann den Stand der Mikrometerschraube ablesen. Daß beim Gebrauch des Instrumentes die Einstellung des Fühlhebels stets von einer Seite her bewerkstelligt werden muß, etwa stets durch Vorwärtsdrehen der Mikrometerschraube, um den todten Gang derselben zu eliminiren, bedarf keiner näheren Erwähnung.

Die so an dem Instrumente erhaltenen Ablesungen können und dürfen natürlich nicht unmittelbar verwendet werden. Erstens ist der Werth eines Schraubenganges der Mikrometerschraube zu bestimmen; zweitens hat auf den Stand der letzteren nicht bloß eine wirkliche Volumenänderung der Probestücke Einfluß, sondern auch eine Temperaturänderung wegen der ungleichen Ausdehnungscoëfficienten des Messings, aus dem der Bügel besteht, und des Probestückes; drittens haben die im Wasser liegenden Würfel immer eine andere und zwar niedrigere Temperatur, als die umgebende Luft, in der das Instrument steht und es wäre unzulässig, erstere immer so lange an der Luft stehen zu lassen, bis sie durch und durch die Temperatur derselben angenommen hätten. Deshalb muß neben der Temperatur der Luft mit dem am Instrument hängenden Thermometer, das zugleich diejenige des Instrumentes und des in der Nähe desselben, an der Luft stehenden und erhärtenden Würfels zeigt, auch die Temperatur des Wassers, in dem die anderen Probestücke liegen, an einem in dasselbe gesenkten und ständig darin verbleibenden Thermometer abgelesen werden. — Der Feuchtigkeitsgehalt der Luft hat auf das Volumen der an derselben erhärtenden Probestücke keinen merklichen Einfluß.

Aus den von Bauschinger mitgetheilten Resultaten ergiebt sich, daß die in der Luft erhärtenden Probestücke, wenn ihr Volumen auch bei einigen Cementen anfangs etwas zunimmt, später alle schwinden, während die im Wasser erhärtenden eine nennenswerthe Volumenänderung überhaupt nicht erleiden, insbesondere nicht diejenigen aus Mischungen von Sand und Cement.

Auch von Dr. Schumann[1]) wurden über die Volumenveränderungen, welche Portlandcementmörtel durch die Einwirkung von Wasser und Luft erleiden, in der Fabrik von Dyckerhoff in Amöneburg eingehende Versuche ausgeführt; dieselben erstreckten sich, um möglichst allgemeine Schlußfolgerungen ziehen zu können, auf eine größere Anzahl von Cementen, welche aus den verschiedensten Rohmaterialien dargestellt waren. Der Verwendungsweise des Portlandcementes entsprechend wurde sowohl ein Cementsandmörtel als auch der reine Cement geprüft, da bei letzterem die Unterschiede im Verhalten der Cemente auffallender hervortraten.

Zum Messen der Volumenänderungen diente der Bauschinger'sche Apparat. Alle Ermittelungen sind an quadratischen Prismen von 10 cm Länge und 5 qcm Querschnitt vorgenommen.

Die Resultate, welche beim Erhärten im Wasser erhalten wurden, sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Alle Cemente, mit alleiniger Ausnahme des stark gypshaltigen Cementes 8 c haben die Probe auf Volumenbeständigkeit nach den Normen vollkommen bestanden.

(Tabelle siehe S. 286 u. 287.)

Nach dieser Tabelle dehnen sich alle Portlandcemente ohne Ausnahme um ein Geringes aus, wenn sie im Wasser erhärten und zwar ist diese Ausdehnung am stärksten in der ersten Zeit der Erhärtung. Sie ist größer bei frischem Cement, als bei abgelagertem, geringer bei feingemahlenem, als bei grobem Cement. Sie wird gesteigert durch Zusatz von Gyps zum Cement, nimmt bei Sandzusatz entsprechend ab und beträgt z. B. bei einem Mörtel aus 1 Cement und 3 Sand durchschnittlich nur 25 Proc. der Ausdehnung des reinen Cementes.

Da die Ausdehnung zur Zeit der größten Festigkeitsentwickelung am stärksten ist und sich ebenso wie die Festigkeitszunahme über eine längere Zeit erstreckt — wenn sie dann auch nur eine minimale ist — da ferner alle Cemente die erwähnte Ausdehnung zeigen, so folgt daraus, daß der Erhärtungsproceß als eine Ursache derselben anzusehen ist. Es muß hervorgehoben werden, daß hier unter Ausdehnung stets nur die äußerst geringe allen Cementen gemeinsame Zunahme des Volumens zu verstehen ist, die mit dem sogenannten Treiben des Cementes nichts zu thun hat.

Läßt man Cementproben abwechselnd in Wasser und Luft erhärten, so findet nach jedesmaligem Einlegen in Wasser eine Ausdehnung, nach dem Ver-

[1]) Thonind.-Ztg. 1881, S. 184. Wagner's Jahresb. d. chem. Techn. 1881, S. 523.

Cementsorte	Rückstand auf 900 Maschen in Procenten	Bindezeit (Minuten)	Ein Prisma von 10 cm Länge und 5 qcm Querschnitt						
			Reiner Cement						
			Bis zu 1 Woche	Von 1 bis 4 Wochen	Von 4 bis 13 Wochen	Von 13 bis 26 Wochen	Von 26 bis 39 Wochen	Von 39 bis 52 Wochen	Total
1	8,5	30	0,0471	0,0198	0,0140	0,0135	0,0186	0,0097	0,1227
2	7,5	660	0,0141	0,0148	0,0081	0,0177	0,0107	0,0048	0,0702
3	10,7	35	0,0467	0,0450	0,0217	0,0341	0,0260	0,0132	0,1867
4	12,5	540	0,1217	0,0322	0,0173	0,0195	0,0080	0,0037	0,2024
5	0,7	600	0,0230	0,0177	0,0170	0,0170	0,0030	0,0130	0,0907
6	5,2	35	0,0439	0,0415	0,0245	0,0226	0,0212	0,0115	0,1652
7	9,8	600	0,0140	0,0121	0,0041	0,0108	0,0089	0,0093	0,0592
8	9,8	20	0,0694	0,0437	0,0386	0,0278	0,0187	0,0150	0,2132
8a	9,8	210	0,0317	0,0299	0,0262	0,0229	0,0110	0,0055	0,1272
8b	9,8	600	0,0966	0,0625	0,0335	0,0274	0,0154	0,0193	0,2547
8c	9,8	840	0,4131	1,0335	0,3122	0,0202	0,0100	0,0139	1,8029
9	7,3	120	0,0428	0,0449	0,0313	0,0207	0,0080	0,0030	0,1507
9a	7,3	420	0,0543	0,0499	0,0322	0,0198	0,0080	0,0030	0,1672
9b	7,3	600	0,1013	0,0424	0,0228	0,0267	0,0080	0,0030	0,2042

bringen aus Wasser in Luft eine Contraction statt, und es läßt sich dieses Experiment mit gleichem Erfolge beliebig oft wiederholen. Dieses Verhalten tritt aber nicht nur bei frisch angefertigten Cementproben ein, sondern es läßt sich ebenso gut an Proben constatiren, die schon Jahre lang erhärtet sind. Es bewirkt also auch das mechanische Eindringen des Wassers eine schwache Volumenvergrößerung, und es ist wahrscheinlich, daß hierbei auch eine molekulare Veränderung der verkittenden Substanz vor sich geht.

Im Allgemeinen sind jedoch die Volumenveränderungen des Cementmörtels so gering, daß dieselben für die Praxis kaum in Betracht kommen. Bei vergleichenden Versuchen von Bausteinen auf ihre Volumenbeständigkeit fand Schumann, daß mehrere der untersuchten Steine im Wasser sich stärker ausgedehnt haben, als Mörtel aus 1 Cement und 3 Sand.

Zur Prüfung der Cemente und Cementmörtel auf ihre Zuverlässigkeit, Erhärtungsfähigkeit und Bindekraft ist von Dr. W. Michaëlis ein neues Verfahren in Vorschlag gebracht worden

verlängert sich, in Wasser gelegt, um Millimeter							Bemerkungen
3 Theile Normalsand							
Bis zu 1 Woche	Von 1 bis 4 Wochen	Von 4 bis 13 Wochen	Von 13 bis 26 Wochen	Von 26 bis 39 Wochen	Von 39 bis 52 Wochen	Total	
0,0134	0,0040	0,0003	0,0050	0,0033	0,0057	0,0317	Alle Mörtel aus reinem Cement
0,0073	0,0013	0,0007	0	0,0007	0	0,0100	hatten gleiche Consistenz.
0,0172	0,0023	0,0006	0,0038	0,0033	0,0044	0,0316	Alle Cementsandmörtel wur-
0,0392	0,0047	0,0048	0,0020	0,0030	0,0037	0,0574	den normengemäß einge-
—	—	—	—	—	—	—	schlagen.
0,0094	0,0025	0	0,0011	0,0087	0	0,0217	
0,0044	0,0040	0	0	0,0005	0,0028	0,0117	
0,0164	0,0092	0,0061	0,0053	0,0059	0,0043	0,0432	
0,0117	0,0074	0,0037	0,0079	0,0035	0,0005	0,0347	Cement 8, 2 Jahre älter.
0,0266	0,0150	0	0,0034	0,0029	0,0018	0,0497	„ 8, mit 2 Proc. Gyps.
0,1396	0,3035	0,0200	0,0024	0,0025	0,0039	0,4719	„ 8, „ 5 „ „
0,0178	0,0124	0,0097	0,0048	0	0,0010	0,0457	
0,0168	0,0124	0,0027	0,0043	0,0030	0	0,0392	„ 9, „ 1 „ „
0,0259	0,0078	0,0062	0,0033	0,0030	0,0005	0,0467	„ 9, „ 2 „ „

(D. R.-P. Nr. 13 808 vom 5. October 1880). Die in üblicher Weise nach den Normen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandcement angefertigten Cementproben werden unmittelbar nach ihrer Herstellung in geeigneten, dampfdichten Apparaten bis 24 Stunden lang unter Hochdruck, vorzugsweise bei 140° bis 180°, behandelt. Auf diese Weise wird bewirkt, daß die ganze Phase der hydraulischen Erhärtung, welche sonst erst nach sehr langer Zeit abgelaufen ist, sich in kürzester Frist abwickelt. Es läßt sich hierbei auch sehr deutlich die etwaige Neigung der Cemente und Cementmörtel zum Treiben erkennen. Die Festigkeitsprüfung findet unmittelbar nach dem Erkalten der aus dem Dampfapparate entnommenen und unter Wasser versenkten Proben statt. — Näheres hierüber ist von Michaëlis nicht veröffentlicht worden.

Dr. L. Erdmenger[1]), welcher die Wahrnehmung machte, daß Portlandcementproben mit 3 Thln. Sand, selbst monatelang Dampf ausgesetzt, nicht nur an Festigkeit nichts einbüßten, sondern im Gegentheil meist gewannen, hat bezüg-

[1]) Thonind.-Ztg. 1881, S. 201, 210 u. 221. Wagner's Jahresb. d. chem. Techn. 1881, S. 532.

liche Versuche mit reinem Cement und solchem, der mit 3 Thln. Sand versetzt war, mit Drucken von 10 bis 35 Atmosphären ausgeführt. Hierbei fand derselbe Folgendes: Reiner Portlandcement kann in jedem Falle zurückgedrückt werden, mag er noch so lange erhärtet sein. Allerdings widerstehen einzelne vorzügliche Cemente sehr kräftig und brauchen zur Herabminderung eines hohen anhaltenden Druckes. So z. B. zerrissen Probekörper aus reinem Cement, die 14 Monate im Wasser erhärtet waren, direct aus dem Wasser erst bei 64 kg. Nachdem sie 30 Stunden im Dampfdruckapparat gewesen waren, betrug die Festigkeit nur noch 47 kg, nach weiteren 30 Stunden noch 35 kg, wieder nach 30 Stunden noch 23 kg u. s. f. Man sieht also hieraus das stufenweise Zurückgehen. Derartiges Verhalten nach bereits langer Erhärtungsdauer stellt aber noch das Vorzüglichste dar. Andere Cemente werden sehr bald viel tiefer herabgedrückt, bei der obigen Dauer fast stets auf Null. Noch andere, und darunter als gut bekannte Marken, erreichen den Nullpunkt viel eher, fangen dann an, treibenrissig zu werden, quellen wohl auch oder zerkochen ganz zu Brei. Es zeigt sich schon hier der Umstand, daß durch diese Probe oft Cemente einander näher treten, die man nach gewöhnlicher Prüfung an Qualität weit auseinanderstehend vermuthet, wogegen für gleich hoch bezüglich der Festigkeit geschätzte Sorten zuweilen schon nach ein- oder zweimaliger Einwirkung auf den Nullpunkt herabsinken. Nehme man lediglich Kalkhydrosilicat (nach Michaëlis) im erhärtenden Cement an, so ließe sich diese offenbar durch freien Kalk herbeigeführte Rückstauung der Festigkeit gar nicht begreifen. Nach der Schwierigkeit des Zurückdrückens der Festigkeit bereits lange erhärteter reiner Proben könnte man immerhin noch leichter eine Gütescala aufstellen als beim Prüfen in bezeichneter Weise kurz nach dem Anmachen.

Erdmenger hat übrigens im Allgemeinen die Proben weder rein noch mit Sand sogleich nach dem Anfertigen der Hochdruckwirkung ausgesetzt, weil man nach dieser kurzen Frist zu leicht die Proben beschädigen kann und so leicht fehlerhafte Resultate herbeiführt. Er gab die Proben vielmehr meist erst nach 12- bis 36stündiger Erhärtung in den Apparat und verkürzte dafür lieber die Zeit durch Anwendung höheren Druckes. In dieser Weise noch frisch der Heißwasserwirkung ausgesetzt, lassen sich viele durchaus sonst ganz gute und selbst für vorzüglich gehaltende Cemente auf einer ganz niederen Festigkeitsgrenze festhalten, bezw. sogar zum mehr oder weniger gelinden Treiben bringen. Andere steigen jedoch sogleich in der Festigkeit und übertreffen da die Probekörper, die gleichzeitig direct aus dem Wasser gebrochen werden. Allein schon nach einigen Tagen werden sie von den Wasserproben überholt. Folgende Beispiele rühren von einem als vorzüglich bekannten Cement her:

					Absolute Festigkeit
1 Tag an Luft,	1 Tag im	Apparat,	also Gesammtalter	2 Tage	= 22,3 kg
1 „ „ „	1 „ „	Wasser,	„ „	2 „	= 15,9 „
1 „ „ „	2 „ „	Apparat,	„ „	3 „	= 17,8 „
1 „ „ „	2 „ „	Wasser,	„ „	3 „	= 21,0 „
1 „ „ „	3 „ „	Apparat,	„ „	4 „	= 12,1 „
1 „ „ „	3 „ „	Wasser,	„ „	4 „	= 28,0 „

Die Proben, direct aus dem Wasser genommen, steigen mithin mit jedem Tage, während die aus dem Apparat mit jedem Tage fallen. Nach zwei Wochen hatten die direct dem Wasser entnommenen Proben 39,8 kg. Wurden sie nun dem Apparat übergeben, so sank nach bereits 10stündiger Einwirkung die Festigkeit auf 31,5 kg.

Auffallend ist der Einfluß von Magnesia in den Cementen bei der in Rede stehenden Behandlung. Proben aus reichlich Magnesia enthaltenden Cementen zerkochen, selbst wenn sie noch so alt sind. Nimmt man hierbei an, daß das sich bildende Magnesiahydrat sich dehne und so das Zerbersten herbeiführe, so ist doch andererseits wiederum auffällig, daß mit ziemlichen Mengen Gyps oder anderen Salzen versetzte Cemente keine Einwirkung zeigen, sobald der Cement selbst nicht ein von Hause aus treibender war. War die Festigkeit des Cementes durch den Zusatz erhöht worden, so kehrt sogar meist auch nach dem Aussetzen im Apparat die höhere Festigkeit des versetzten Cementes wieder, d. i. bei reinem Cement, bei Sandzusatz hingegen verhält es sich etwas anders, die Festigkeit stellt sich da fast immer ziemlich genau gleich. Gleichwohl würde man sehr Unrecht thun, den magnesiahaltigen Cement lediglich nach dieser Probe taxiren zu wollen, da er dann hinter viele Cemente zurückgestellt werden müßte, während er solche nicht selten thatsächlich überragen kann. Ferner zerkochten von einem Cement sämmtliche reine Proben in mehr oder weniger kurzer Zeit, während er auf nassem Wege sorgfältigst fabrizirt, also durch Schlämmen erzeugt wird, keine Magnesia enthält und in Bezug auf möglichstes Freisein von Haarrissen meist als ein viele Cemente übertreffendes Muster gedient hat.

Die Wahrnehmung, daß die besprochene Prüfungsweise für reinen Cement scheinbar kaum anwendbar ist, hat Michaëlis jedenfalls bestimmt, dafür die jetzt übliche viel mehr mit den gewöhnlichen Verhältnissen übereinstimmende Prüfung mit 3 Thln. Sand zu substituiren. In dem Maße nämlich, als man dem reinen Cement Sand incorporirt, wird die bei reinem Cement später rückstauend wirkende Ausdehnung durch Kalk immer mehr in Festigkeitssteigerung übergeführt, sobald der Sandzusatz nicht für noch relativ niedrige Druckhöhen ein zu hoher wird. Aus den Proben mit reinem Cement läßt sich nur dann auf ihr Verhalten mit Sand schließen, wenn sie sich auch rein immerhin als widerstandsfähig erwiesen. Man kann nun bei den oben angeführten Beispielen, wo der Cement, selbst frisch dem Apparate ausgesetzt, immer noch leidliche Festigkeit zeigte, sich nicht oder nur schwer auf Null oder ganz geringe Festigkeitsgrade herabdrücken ließ, schließen, daß auch die Sandfestigkeit Widerstand zeigen wird, und zwar einen ganz erheblich höheren als der reine Cement, ja einen eben dermaßen gesteigerten, daß die Michaëlis'sche Anforderung der Schnellprüfbarkeit des Cementes damit gegeben wäre. Aus relativ gutem Verhalten des reinen Cementes kann man demnach auch auf gutes bezw. bestes Verhalten mit Sand schließen. Dagegen läßt die ganze Reihe der mehr oder weniger leicht auf Null oder annähernd Null herabdrückbaren Cemente bezüglich der Qualitätsreihenfolge, die sie dann mit 3 Thln. Sand einnehmen werden, gar keine genügend sichere Schlußfolgerung zu.

Bei der Hochdruckdampfprobe mit reinem Cement treten Cemente einander näher, die sonst ferner von einander stehen, namentlich nähern sich ein-

zelne gute, rasch bindende Cemente bei der Prüfung mit 3 Thln. Sand den besten **langsam bindenden, während sie auf kaltem Wege geprüft immerhin merklich** dahinter **zurückbleiben. So gab z. B. bei 150 g Trockensubstanz pro Achtform,** wobei in **Berücksichtigung des raschen Bindens nur jedesmal zwei Probekörper auf** einmal hergestellt waren, der rasche Cement mit 3 Thln. Sand nach 60stündiger Einwirkung des Hochdrucks 32,4 kg, der bereits oben erwähnte sehr gute langsam bindende Cement 35,8 kg. Dagegen waren direct aus kaltem Wasser nach 100 Tagen die Festigkeiten 18,3 kg und 31,7 kg. Bei der Prüfung mit Hochdruckdampf beträgt die Differenz 3,4 kg, im gewöhnlichen Wege 13,4 kg, also gerade 10 kg mehr. Hingegen zeigte ein anderer Cement, der rein bei der Heißprüfung bis auf Null heruntergedrückt wurde und sogar beginnende Zerstörung an seiner Oberfläche erkennen ließ, 39,8 kg mit 3 Thln. Sand. Diese Proben waren alle mit einem dem Normalsande nachstehenden Sande angefertigt. Mit Normensand stellten sich die Festigkeiten heiß bei den drei erwähnten Cementen auf 24,8 kg, 36,7 kg und 44,2 kg. Kalt gab dieser letzte Cement mit dem ersteren Sande nur 24,6 kg, stand also zwischen den anderen beiden Sorten in diesem Falle, während er sie heiß überragte.

Erdmenger zieht aus den Resultaten seiner umfassenden Versuche den Schluß, daß die Prüfung mittelst Hochdruckdampf zur alleinigen entscheidenden Prüfung des Cementes noch nicht geeignet sei, daß sich dieselbe aber zu Vergleichen, namentlich für Cementfabriken, empfehle.

Der Apparat, den Erdmenger zur Prüfung der Cementproben vermittelst Hochdruckdampf anwendet, ist folgendermaßen eingerichtet[1]. Ein Kesselblech von 12 mm Dicke ist zu einem Cylinder zusammengerollt und sind die zusammentreffenden Enden über einander genietet. Dieser Cylinder ist aufrecht gestellt und darunter von innen eine Kopfplatte als Boden eingenietet und oben darauf eine gleiche Kesselplatte aufgenietet. Durch das Aufnieten von außen müssen die Blechränder umgeschlagen werden und entsteht so ein hervorstehender Ring. Mit diesem vorstehenden Flansch ist der Kessel in einen Dreifuß, der oben in einen starken eisernen Ring ausläuft, eingehenkt. Auf der gewölbten oberen Platte trägt der Apparat Ventil und Manometer. An der Seite befindet sich eine größere verticale Oeffnung, die durch einen Manndeckel geschlossen wird. Derselbe wird mit Gummidichtung versehen, in die Oeffnung hineingesteckt und dann der Gummiring vermittelst Bügel und Schraube von außen angezogen, so daß er von innen fest an die Kesselwandung andrückt. Auf der entgegengesetzten Seite mündet das Rohr einer Druckpumpe, welches in der Nähe des Kessels durch Drosselventil geschlossen werden kann. Der Kessel ragt mit seinem unteren Theil in einen Blechofen hinein. Der offene Ring des Blechofens schließt dicht an den Kessel an, wird aber gleichwohl noch dicht verschmiert. Der Apparat wird mit den Proben beschickt, darauf der Verschluß durch den Manndeckel bewirkt, von oben durch das Loch des noch nicht aufgesetzten Ventils Wasser eingefüllt, oder auch mit der Pumpe Wasser eingepumpt, bis der Kessel fast gefüllt ist. Darauf wird das Ventil dicht eingesetzt, entsprechend belastet und

[1] Thonind.-Ztg. 1882, S. 94.

darauf mit dem Heizen begonnen. Der Ofen steht mit einem Schornstein oder Kaminabzug in Verbindung. Ob Wasser oder Dampf von gleicher Temperatur auf die Proben einwirkt, ist ganz gleich. Durch das allmälige Verkochen des Wassers sinkt das Niveau im Kessel und stehen dadurch schließlich immer mehr Proben bloß im Dampf. Die Wirkung bleibt indeß dieselbe. Hört man am Abend mit dem Feuern auf, so ergänzt man am anderen Morgen, falls man weiter feuern will, immer zweckmäßig wieder den Theil Wasser, welcher bereits verkocht ist, indem man das Ventil abhebt, dadurch Wasser eingiebt und das Ventil wieder aufsetzt. Der Apparat ist durchaus dicht und sehr dauerhaft. Er ist auf 40 Atmosphären Dampfdruck probirt und meist bis zu dieser Höhe beansprucht. Man kann bis 100 Stück und noch erheblich darüber achtförmiger Probekörper auf einmal eingeben.

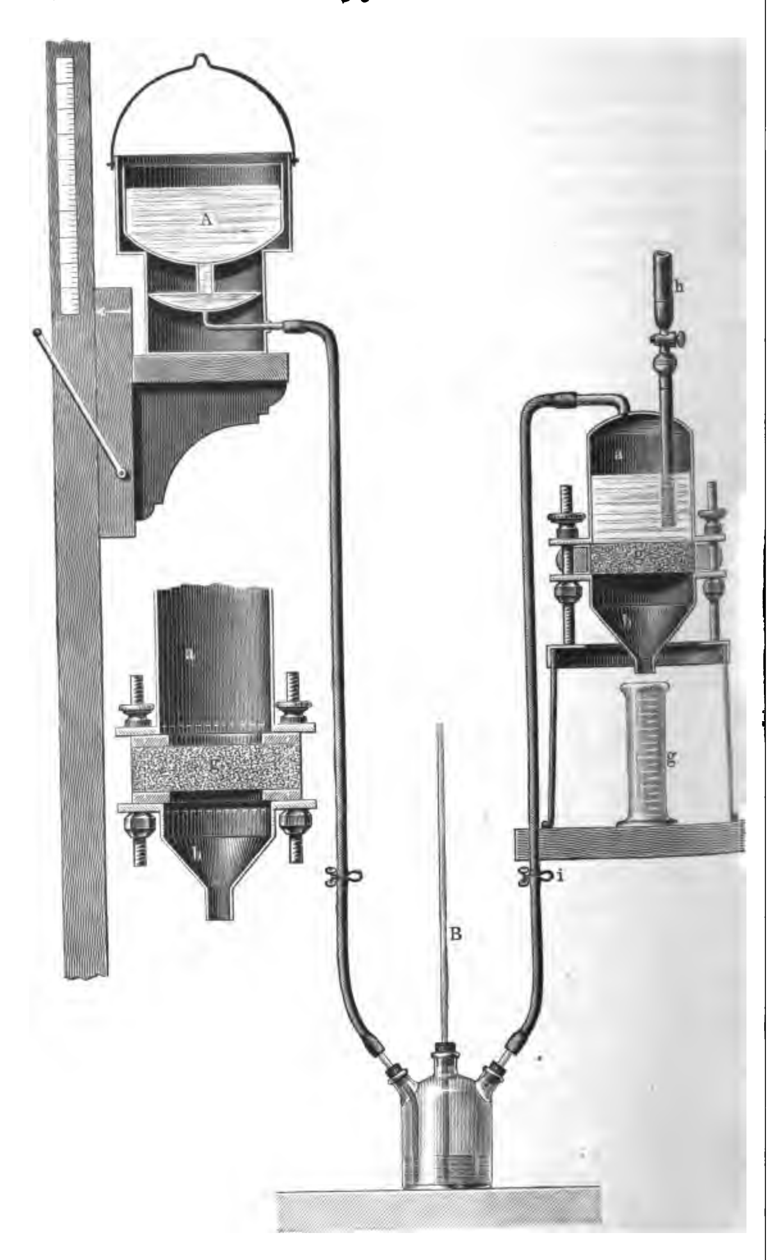
Da gewisse Bauausführungen einen wasserdichten Wassermörtel erfordern, so hat man auch in neuester Zeit Apparate construirt, vermittelst welcher die Mörtel auf Dichtigkeit oder vielmehr auf Porosität und Wasserdurchlässigkeit geprüft werden können. Ein derartiger, von Dr. H. Frühling construirter Apparat ist in Fig. 106 (a. f. S.) abgebildet[1]). Der mit einem breiten Rande versehene Kupferkessel *a* und der ebenfalls so hergerichtete Trichter *b* werden durch drei Schrauben mit Muttern passend gestellt, um das mit einem Dichtungsringe von Gummi umgebene Probestück *g* aufzunehmen. Durch eine bis zur Mündung des Kessels hinabreichende Röhre *h* wird derselbe mit derjenigen Flüssigkeit gefüllt, auf die Durchlässigkeit von welcher man den Mörtel zu prüfen wünscht.

Um nun aber die Prüfungen mit der nöthigen Genauigkeit, unter stets gleichbleibendem Drucke auf viele Stunden und Tage ausdehnen zu können, ist die ohne weitere Beschreibung aus der Skizze leicht verständliche Anordnung getroffen, daß das Reservoir *A*, welches den Druck zu reguliren hat, und das sowohl mit Wasser als mit Quecksilber gefüllt werden kann, in genau bestimmter Höhe aufgestellt werden kann. Da dasselbe sich nun wie eine unter das Flüssigkeitsniveau mit der Mündung eingetauchte Flasche entleert, außerdem durch die passend angebrachten Quetschhähne ohne Störung des Gleichgewichts des hydraulischen Druckes immer wieder gefüllt werden kann, so ist es leicht ersichtlich, daß man ein Probestück ohne Mühe Tage lang unter stets gleichem Drucke und doch bei beliebig zu wechselnden Probeflüssigkeiten beobachten kann.

Außer der leicht zu ermittelnden Höhe des Flüssigkeitsniveaus in dem Wasser- oder Quecksilberbehälter dient noch die in der unter dem Arbeitstische aufgestellten Woulff'schen Flasche befindliche Barometerröhre *B* zur stetigen Ablesung des vorhandenen Druckes. Diese Röhre geht bis auf den Boden der Flasche hinab und taucht in das den Boden auf etwa 5 cm Höhe bedeckende Quecksilber (auch wenn der Druck durch eine Wassersäule hervorgebracht wird). Die Röhre links geht ebenfalls bis zum Boden hinab.

[1]) Notizbl. f. Fabrik. von Ziegeln ꝛc. 1879, S. 317.

Fig. 106.



Bei herannahender Entleerung des Probekessels a und damit verbundener Ausfüllung der Woulff'schen Flasche kann jeden Augenblick eine Entleerung der letzteren und Füllung des ersteren ohne Störung des Versuches vorgenommen werden. Sobald der Quetschhahn i geschlossen wird, kann man durch Hinabsetzen des Reservoirs auf den Fußboden die Woulff'sche Flasche entleeren und es stellt sich dann bei Wiedererhöhung des Reservoirs ohne Weiteres der frühere Luftdruck wieder her.

Der in Cubikcentimeter eingetheilte Glascylinder g, welcher unter dem Trichter des Apparates aufgestellt wird, nimmt das in bestimmter Zeit und unter bestimmtem Druck das Material durchdringende Quantum Flüssigkeit auf und so ist demnach ohne Weiteres in Rücksicht auf die Fläche und Dicke des Probestückes die Durchlässigkeit leicht zu berechnen.

Die Construction der Schrauben, sowie der gesammten Klemmvorrichtung zum Festhalten der Probestücke gestattet es, nicht nur Mörtelproben von beliebiger Dicke, sondern auch Proben anderer Steinbaumaterialien auf Porosität zu prüfen, indem man die Einschaltung zwischen Druckkessel und Trichter durch unten und oben aufgelegte durchbrochene Gummischeiben bewerkstelligt.

Zur Herstellung der Probeobjecte verwendet man Ringe von 1 mm starkem Messingblech und in der Regel von 5, 10, 20 bis zu 40 mm Höhe. Die plastischen Mörtel werden in die Ringe eingefüllt und in denselben der Erhärtung überlassen. Die Probestücke werden mit den Messingformen unter Beihülfe von zwei flachen Gummiringen zwischen Trichter und Kessel eingespannt. Die Messingringe verhindern das Zerdrücken der Ränder von schwachen Probestücken und die Dichtung ist auch bei grobkörnigen Mörteln durch Mitwirkung des Randes der Blechringe schnell und sicher zu erreichen. Man kann auf diese Weise auch Mörtel sogleich nach dem Abbinden derselben prüfen, wenn man die untere Fläche nur durch ein Drahtgewebe gegen das Zerbrechen unter dem Wasserdrucke schützt.

Soll ein Stück Sandstein, erhärteter Mörtel, Schiefer oder Ziegel geprüft werden, so legt man dasselbe in den Ring und füllt den leeren Raum mit Mörtel aus reinem Cement oder geschmolzenem Harze aus. Nach Erhärtung der Ausfüllung geschieht die Einspannung wie bei den Mörtelproben.

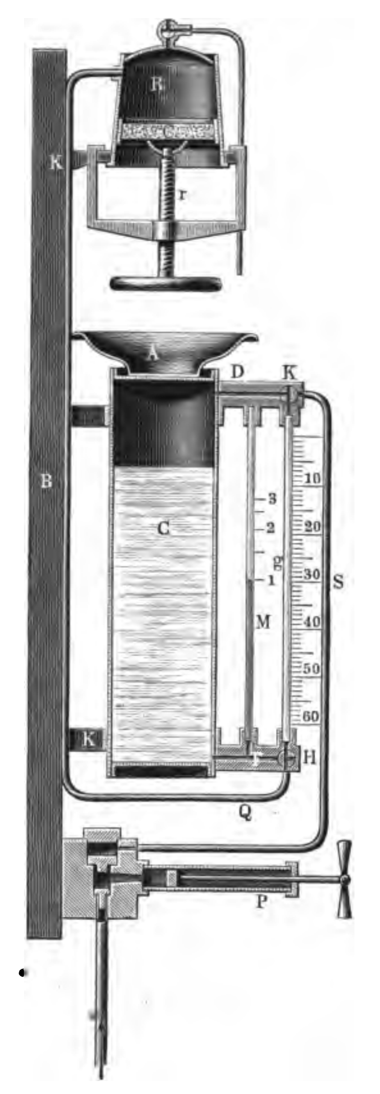
Die vergleichenden Prüfungen bei Cementen müssen mit destillirtem Wasser vorgenommen werden, um nur einigermaßen brauchbare Resultate zu erhalten. Quellwasser mit Gehalt an kohlensaurem oder schwefelsaurem Kalk lassen sofort in den Poren des Mörtels Niederschläge zurück, welche bewirken, daß die Resultate im Laufe längerer Zeit mit einem Probeobjecte beständig variiren. — Aber auch bei Anwendung von destillirtem Wasser findet bei sandreichen Cementmischungen, welche noch nicht vollständig erhärteten, sehr rasch eine Zersetzung des Mörtels statt, da das Wasser Tage lang mit Kalkhydrat gesättigt durchfiltrirt.

Frühling betont noch, daß genaue und allgemein mit Ziffern zu begrenzende Resultate schwer zu erreichen sind und daß nur in der Hand geübter Experimentatoren die Prüfung auf Wasserdichtigkeit nutzbare Resultate liefert, welche dann auch noch mit der nöthigen Vorsicht auf die Praxis zu übertragen sind.

Wenn Hafen- und Schleusenmauern oder eine Abdachung von Kasematten mit Cementmörtel oder ein großes Reservoir aus Cement undicht wird, so ist das

wohl selten dem Cemente zur Last zu legen, denn in der Regel wenden die Bautechniker Mischungen an, welche mehr Cement als nöthig enthalten. Es sind fast immer die in den Cementbekleidungen und in dem Mauerwerke entstehenden Risse, welche das Wasser durchlassen. Wenn auch die sandhaltigen Cementmörtel mehr oder wenig wasserdurchlässig sind, so dichten sich dieselben aber bei den Verwendungen in der Praxis sehr schnell durch die trübenden Bestandtheile der Gewässer und durch deren sich niederschlagende aufgelöste Kalksalze.

Fig. 107.

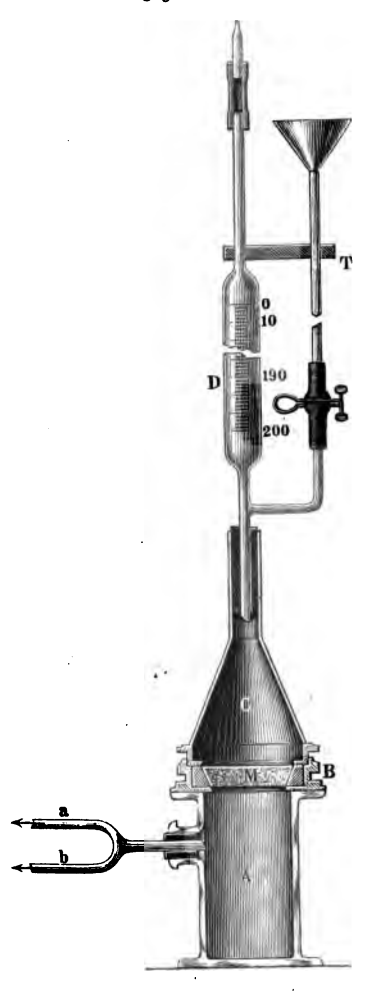


Ein von L. P. Raasche construirter hydraulischer Dichtigkeitsmesser zur Prüfung der Wasserdurchlässigkeit des Cementes hat nach W. Michaëlis folgende Einrichtung [1]): Der Apparat (Fig. 107) ist mittelst eiserner Klammern *K* auf einem eichenen Brette *B* befestigt, welches wieder durch Schrauben und Hacken mit einer Wand verbunden wird. Der 0,5 m hohe kupferne, oben und unten geschlossene Cylinder *C* ist seitlich mit zwei Oeffnungen versehen, welche in die Röhren *D* und *F* ausmünden. Durch letztere steht der Cylinder in Verbindung mit dem geschlossenen Manometer *M* und mittelst des Dreiweghahnes *H* mit dem in 0,1 ccm getheilten Rohr *g*, während das Messingrohr *Q* zu dem schwach konischen Metallcylinder *R* führt, in welchem das zu prüfende Cementstück *c* mittelst der Schraube *r* festgehalten wird. Die Dichtung wird durch einen getalgten Gummiring bewirkt. Mittelst der Pumpe *P* kann man bei entsprechender Stellung des Dreiweghahnes *K* durch den Schlauch *S* Wasser oder Luft in den Cylinder *C* pressen. Da die dem Drucke ausgesetzte Fläche des zu prüfenden Cementmörtels

1) Dingl. pol. J. 233, 318.

genau 100 qcm beträgt und der Querschnitt von dem Cylinder *C* 99mal so groß ist als von *g*, so würde bei gezeichneter Stellung der Hähne das Sinken des Wasserspiegels in *g* um 0,1 ccm anzeigen, daß das Wasser 0,1 cm tief in den Cement eingedrungen ist. Das durchgesickerte Wasser wird in der Schale *A* aufgefangen. Dieser Apparat läßt zwar Drucke bis zu 10 Atmosphären zu, er ist aber theuer.

Fig. 108.



Michaëlis[1]) verwendet daher nur den bis 1 Atmosphäre Druck zulassenden und in Fig. 108 dargestellten Apparat.

Auf den tubulirten gläsernen Fuß *A* mit breitem abgeschliffenem oberen Rande wird ein genau aufgeschliffener massiver Messingring *B* gesetzt, welchem mittelst Gummiring das zu prüfende Mörtelstück *M* von genau 20 qcm in Wirkung tretender Fläche und 1 cm Stärke durch Einschrauben des Aufsatzes *C* dicht eingefügt wird; letzterer trägt die graduirte Meßröhre *D*, welche bis 200 ccm in 0,5 ccm getheilt ist. Der Raum über der Mörtelscheibe bis zum Nullpunkte der Meßröhre wird durch das Trichterrohr *T* mit destillirtem oder wenigstens filtrirtem Regenwasser gefüllt; dann wird der Quetschhahn geschlossen. Durch die mit einer Gabelleitung armirte Tubulatur des Cylinders *A* communicirt der Raum unter dem Mörtelstück einerseits mit einem Quecksilbermanometer, andererseits mit einer Handluft- oder Wasserstrahlpumpe. Die Verbindung mit letzterer findet mittelst dickwandigen Gummischlauches statt und kann durch eine kräftige Klemmschraube abgeschlossen werden.

Sobald der Apparat in der beschriebenen Weise aufgestellt ist, evacuirt man *A*, schließt die Verbindung zur Pumpe ab, justirt noch einmal den Wasserstand und kann nun an der Meßröhre für jede beliebige Zeiteinheit die den Mörtel event. durchdringende Wassermenge für 20 qcm direct ablesen.

---

[1]) Dingl. pol. J. 233, 318.

Frühling[1]) tadelt an dem Apparate von Michaëlis, daß der Druck durch ein Vacuum erzeugt wird, und daß der Druck des Wassers auf das Probestück sich jeden Augenblick ganz beträchtlich ändern muß.

Ein ohne alle Apparate auszuführendes Verfahren zur Vergleichung der Wasserdichtigkeit verschiedener Mörtel ist nach Frühling[2]) folgendes: Man forme gleichmäßige Cylinder aus den zu prüfenden Massen. Nachdem diese eine bestimmte Zeit der Erhärtung überlassen, werden dieselben bei 100° C. ausgetrocknet und in der zu vergleichenden Ordnung in ein flaches Gefäß gestellt, dessen Boden mit einer 1 cm hohen Wasserschicht bedeckt ist. Die Kreisfläche der Cylinder, soweit dieselben in das Wasser tauchen, werden vorher mit Talg, warmem Wachs oder einem fetten Harzfirniß überstrichen, damit an den Außenwänden derselben kein Wasser durch Capillarkräfte emporsteigen kann. Die Cylinder werden nun im umgekehrten Verhältnisse zu ihrer Dichtigkeit ein Aufsteigen des Wassers in das Gefüge desselben deutlich verfolgen lassen. Die scharf abgegrenzten Zonen des Feuchten und Trockenen lassen hinlänglich genaue Messungen zu. Das Verfahren kann natürlich nur unter sehr eng begrenzten Verhältnissen berücksichtigt werden, da sich theoretisch sehr viel Einwendungen dagegen vorbringen lassen.

Die Prüfung auf Wasserdichtigkeit kann nach H. Klose[3]) auch auf folgende Art vorgenommen werden. Man fertige mit Hülfe einer leicht zu construirenden Form kleine Gefäße aus reinem Cementmörtel, gebe den Gefäßen eine Lichtweite von 6 bis 10 cm, eine Höhe von 8 bis 10 cm und eine Wandstärke von etwa 11 mm. Beim Einfüllen des steif anzurührenden Breies suche man Luftblasen thunlichst zu vermeiden, indem man den Mörtel nur nach und nach aufgiebt und nach jeder Einfüllung durch Klopfen unter die hohl liegende Tischplatte das Zusammensinken des Mörtels und das Freiwerden der Luftbläschen befördert. Nach hinlänglichem Abbinden des Cementes nehme man die Töpfchen behutsam aus der Form und gebe ihnen Zeit zu vollständiger Erhärtung, stelle sie dabei in freier Luft, aber schattig, oder auch im trockenen Zimmer auf und tauche im letzteren Falle sie während der ersten drei Wochen von Zeit zu Zeit unter Wasser.

Nach drei Monaten kann man mit den Versuchen vorgehen. Man füllt die gänzlich ausgetrockneten Töpfchen zu etwa $^3/_4$ mit Wasser, stellt sie zu weiterer Beobachtung auf und ersetzt das verdunstete Wasser mitunter durch frisches. Hat der Cement die gewünschte Eigenschaft, so bleibt die äußere Fläche der Töpfchen, selbst nach wochenlanger innerer Benetzung, vollständig trocken.

Dr. Frühling hat durch Versuche nachgewiesen, daß die Festigkeit der Mörtel und anderer Baumaterialien in keinem Verhältnisse zu deren Dichtigkeit steht[4]). Eine Mörtelmischung A. von 1 Thl. hydraulischem Kalk und 3 Thln.

---

[1]) Thonind.-Ztg. 1879, S. 44.
[2]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrikation von Ziegeln ꝛc. 1876, S. 132.
[3]) Klose, Der Portlandcement und seine Fabrikation. 1873, S. 51.
[4]) Notizbl. f. Fabrik. v. Ziegeln ꝛc. 1876, S. 132.

Sand. Alter = 28 Tage. Eine andere B. von 1 Thl. Portlandcement und 4 Thln. Sand. Alter = 9 Monate:

Absolute Festigkeit von A. = 3,5 kg per Quadratcentimeter,
" " " B. = 20,0 " " "

Beide Mischungen wurden unter ganz gleichen Verhältnissen dem Drucke einer 1 m hohen Wassersäule ausgesetzt. Nach 24 Stunden hatten beide 23 mm starke Platten Wasser durchgelassen:

A. 18 ccm, B. 55 ccm.

Zwei andere Mischungen, a. 1 Thl. hydraulischer Kalk, 2 Thle. Sand; b. 1 Thl. Portlandcement und 2 Thle. Sand unter gleichen Verhältnissen geprüft, zeigten sich, sowohl unter einem Drucke von 1 m, als unter einem solchen von 2,50 m als vollkommen undurchlässig:

Absolute Festigkeit von a. = 6 kg per Quadratcentimeter, Alter 28 Tage,
" " " b. = 35 " " " " 46 "

Wenn es sich daher darum handelt, einen Mörtel von bestimmter Undurchlässigkeit gegen tropfbares und dunstförmiges Wasser ohne Rücksicht auf hohe Festigkeit herzustellen, so kann der hydraulische Kalk sowie der Romancement sehr gut mit dem Portlandcement concurriren.

Nach Frühling zeigen eine größere Undurchlässigkeit gegen Wasser auch die durch Mischung von Traß mit Grubenkalk hergestellten Wassermörtel. Es liegt das in der Natur des Materials. Die zu Hydrat gelöschten hydraulischen Kalke, die weichstaubigen Romancemente, der feinvertheilte Grubenkalk geben in Vermischung mit Sand ein viel mehr geschlossenes Körpergefüge, als der körnige Portlandcement. Je feiner letzterer gemahlen, um so mehr wird er in besprochener Eigenschaft den vorgenannten Materialien gleichkommen. Der großen Wasserdichtigkeit der Romancemente ist es auch zuzuschreiben, daß dieselben noch vielfach zur Ausmauerung von Senkgruben, zum Bewurf von Kellermauern verwendet werden.

Auch von Dyckerhoff sind Versuche über Wasserdichtigkeit der Mörtel ausgeführt worden[1]), welche nachstehende Resultate ergaben.

Um die Mörtel auf ihre Durchlässigkeit zu prüfen, wurden Platten von 1,5 cm Dicke in eisernen Ringen im Frühling'schen Apparate einem Wasserdruck von 5 m ausgesetzt. Die Mörtel wurden von einer Consistenz, wie man Beton in der Praxis einstampft (also nässer wie bei der Normenprobe), in die Ringe eingeschlagen, mit einem Messer geglättet und nachdem dieselben 7 Tage in einem feuchten Raume erhärtet waren, geprüft. Die auf Durchlässigkeit in Anspruch genommene Fläche betrug in allen Fällen 25 qcm.

Die Portlandcementmörtel von 3 bis abwärts zu 1 Volumentheile Sand auf 1 Volumentheil Cement erwiesen sich bei Anwendung von gewöhnlichem Rheinsand in einer Dicke von 1,5 cm noch durchlässig. Mit Vermehrung des Sandzusatzes steigerte sich die Durchlässigkeit. Sie war am stärksten innerhalb

[1]) Thonind.-Ztg. 1882, S. 100.

der ersten 12 Stunden und nahm von da an gradatim ab. Die Mörtel werden also in Folge des Erhärtungsprocesses unter der Einwirkung des Wassers allmälig dichter. Immerhin ist ein Mörtel aus 1 Thl. Cement und 1 Thl. groberem Sand selbst nach 7 Tagen (bei obiger Stärke) noch schwach durchlässig. Bei feinem Sand dagegen hat sich in Folge der größeren Vertheilung des Cementes der Mörtel schon nach 24 Stunden soweit gedichtet, daß derselbe als undurchlässig angesehen werden kann.

Das verschiedene Verhalten von Rheinsand und feinem Grubensand zeigt die folgende Tabelle:

25 qcm einer 1,5 cm starken Platte ließen Wasser durch in Cubikcentimeter			Bemerkungen.
Zeit	Rheinsand (grob)	Grubensand (fein)	
Nach 12 Stunden	44,0	37,0	Der Portlandcement hatte 2,5 Proc. Rückstand auf dem 900=Maschensieb.
„ 24 „	12,0	2,0	
„ 36 „	—	0,75	
„ 2 Tagen	14,0	0,40	
„ 3 „	10,0	0	
„ 4 „	8,0	0	
„ 5 „	6,0	0	
„ 6 „	4,0	0	
„ 7 „	3,5	0	
Sa.: 7 Tage	97,5	40,15	

Nimmt man die zu prüfende Mörtelschicht stärker als 1,5 cm, so vermindert sich die Durchlässigkeit sehr bedeutend, so ließ z. B. eine Platte aus 1 Cement und 1 Rheinsand von 2,5 cm Stärke nach 24 Stunden nur noch 2,5 ccm Wasser durch.

Romancement (Grenobler) ergab einen viel durchlässigeren Mörtel als Portlandcement, und ließ z. B. ein Mörtel aus 1 Thl. Cement und 1 Thl. Feinsand nach 12 Stunden 310 ccm Wasser durch.

Traßmörtel aus 1 Thl. Traß, 1 Thl. Bockumer Wasserkalk und 1 Thl. Sand ließ bei der angegebenen Prüfungsweise nach 12 Stunden 58 ccm, vom sechsten bis zum siebenten Tage immer noch 12 ccm Wasser durch, dichtet sich also weniger als Portlandcementmörtel.

Auf Grund der Beobachtung, daß Portlandcementmörtel durch Kalkzusatz dichter werden, versuchte Dyckerhoff Mörtel von mehr als 1 Thl. Sand wasserdicht zu machen. Es erwiesen sich hierbei nachfolgende Mörtel nach siebentägiger Erhärtung, bei 5 m Wasserdruck geprüft, sofort als völlig undurchlässig und blieben dies auch nach längerer Prüfungsfrist:

1	Thl. Cement,	2	Thle.	Rheinsand,	1/2	Thl.	Kalkteig,
1	" "	3	"	"	1	"	"
1	" "	6	"	"	2	"	"

Bei Anwendung von Feinsand kann zur Erzielung von wasserdichtem Mörtel etwas weniger Kalk genommen werden. Hydraulischer, zu Pulver gelöschter Kalk wirkt bei gleichem Mischungsverhältniß weit weniger günstig wie Fettkalk, weil er nicht so fein vertheilt ist, und ist von demselben etwa die doppelte Menge zuzusetzen, um die gleiche Wirkung wie mit Fettkalk zu erzielen.

Zu den technisch wichtigsten Eigenschaften der Wassermörtel gehört auch die Frost- und Wetterbeständigkeit. Als wetterbeständig können nur diejenigen hydraulischen Mörtel gelten, welche den zerstörenden Einflüssen der Eisbildung im Inneren ihres Gefüges widerstehen, wie z. B. bei der Verwendung zu Wasserbauten in nordischen Gewässern und bei Tunnelbauten in wasserdurchtränktem Erdreich. Unter den hydraulischen Mörteln erfüllt einzig nur der Portlandcement diese Bedingung in ausreichendem Maße. Es können indeß unter sorgfältig bewahrten günstigen Bedingungen auch andere hydraulische Mörtel bestehen und sind diese Bedingungen darin bestehend, daß der Erhärtungsproceß derselben vor Eintreten des zerstörenden Frostes zum größten Theile abgeschlossen ist und daß die Mörtelmischung nicht zu fett sei, also ein zu sehr geschlossenes Gefüge habe.

Festigkeit und Wetterbeständigkeit der Baumaterialien allgemein und besonders der Mörtel stehen nicht in geradem Verhältniß zu einander. In derselben Weise, wie sehr lockere Sandsteine, wasserdurchtränkt, den stärksten Frost aushalten, während feste Kalkmergel, Gneis daneben in Schutt zerfallen, sind magere, aber vollständig erhärtete Mörtel wetterbeständiger als fette, namentlich wenn letztere noch ätzenden Kalk enthalten. Frühling[1]).

Die Wetterbeständigkeit zu prüfen dient am zuverlässigsten das Verfahren, die Probekörper, vollständig mit Wasser durchtränkt, den Einflüssen eines oder mehrerer Winter auszusetzen, wobei man dieselben während anhaltenden Frostes täglich aufthaut und wieder zum Durchfrieren aussetzt.

Als Ersatz dieses sehr zeitraubenden und umständlichen Verfahrens ist die Nachahmung der Frostwirkungen durch Krystallisation von Salzen empfohlen worden. Es läßt sich das Natriumsulfat (Glaubersalz) zu diesem Zwecke sehr gut verwenden und es entspricht dessen Wirkungsweise der des Frostes, wenn man die Probe in folgender Weise anstellt: In die bei ca. 30° C. gesättigte Lösung von Glaubersalz werden die Probeobjecte versenkt und das Gefäß mit dem Inhalte zur freiwilligen Verdunstung des Wassers in einem vor Regen geschützten offenen Raume aufgestellt. Die so allmälig alle Theile des Probekörpers durchdringende Krystallisation des Salzes, die dann folgende theilweise Verwitterung desselben wirken mit großer Kraft zerstörend. Frühling fand, daß Bausteine und Mörtel, welche diese Probe aushielten, auch die Frostproben bestanden und umgekehrt, daß Kunststeine, welche durch den Frost zerstört wurden, auch in dieser Probe zu Grunde gingen. Nach Frühling ist aber diese Probe nicht unbedingt

[1]) Notizbl. f. Fabrik. v. Ziegeln rc. 1876, S. 133.

zu empfehlen, weil noch festzustellen ist, wie weit die Salzlösung selbst zerstörend auf das Gefüge, namentlich bei noch nicht ganz erhärteten Mörteln, einwirkt, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß Natriumsulfat sowohl die Erhärtung des Portlandcementes, als die aller anderen Mörtel beeinflußt.

Da die Güte und Brauchbarkeit der Cemente auch von der richtigen chemischen Zusammensetzung abhängig ist, so ist zur Beurtheilung derselben in den meisten Fällen auch nothwendig, durch eine chemische Analyse die procentische Zusammensetzung der Cemente zu ermitteln, um durch den Vergleich mit den Analysen anerkannt vorzüglicher Cemente einen Anhaltspunkt zu erhalten, ob die Zusammensetzung des untersuchten Cementes der gestellten Anforderung entspricht. Außerdem erhält man durch die chemische Analyse auch Aufschluß darüber, ob die Bestandtheile eines Cementes in wirksamer Eigenschaft vorhanden sind (ob z. B. der Thon ganz oder nur theilweise aufgeschlossen ist 2c.) und ob der Cement nicht andere oft schädlich wirkende Stoffe (wie z. B. Gyps in größerer Menge 2c.) enthält. Selbstverständlich ist eine richtige procentische Zusammensetzung an sich noch kein sicheres Zeichen für Güte und Brauchbarkeit des Cementes, hierüber können nur weitere Proben über Festigkeit, Bindekraft 2c. sicheren Aufschluß geben.

In Betreff des bei der chemischen Analyse einzuschlagenden Ganges verweisen wir auf S. 92 und 185.

g. Anwendung der hydraulischen Mörtel.

Da der Wassermörtel, im Gegensatz zu Luftmörtel, im Wasser nicht erweicht, sondern im Gegentheile zu einer steinharten Masse erhärtet und diese Härte auch unter Wasser und in feuchter Umgebung beibehält, so dient derselbe allgemein zu allen Mauerungen unter Wasser und wo man eine der Einwirkung von Wasser oder Feuchtigkeit widerstehende Bekleidung oder Verkittung nöthig hat.

Aber nicht nur da, wo Wasser die Anwendung nöthig macht, der Wassermörtel ersetzt auch den Luftmörtel in den meisten, ja in allen Fällen mit dem besten Erfolge, namentlich empfiehlt er sich wegen seiner bedeutenden Festigkeit, welche derselbe auch an der Luft in kurzer Zeit erlangt, besser als der gewöhnliche Mörtel überall da, wo es sich um Solidität, Dauerhaftigkeit, große Tragfähigkeit und schnelle Ausführung handelt.

Aber nicht nur in der Bautechnik, auch zu verschiedenen anderen gewerblichen, landwirthschaftlichen, Kunstgegenständen 2c. findet der hydraulische Mörtel, namentlich der Portlandcement, jetzt mannigfache Anwendung, wie z. B. zu Röhrenleitungen, Wasserreservoirs, Krippen, Krystallisirgefäßen, Ornamenten, künstlichen Bausteinen u. s. w.

Es liegt nun nicht in der Absicht des Verfassers, alle die mannigfachen Verwendungen der Wassermörtel nach den verschiedensten Richtungen hin eingehend zu behandeln, sondern es sollen dieselben hier nur im Allgemeinen besprochen und namentlich diejenigen Punkte hervorgehoben werden, von deren Einhaltung das Gelingen der verschiedenen Cementarbeiten abhängig ist.

Je nach dem Material, aus dem der Wassermörtel dargestellt wird, unterscheidet man:

1) Wassermörtel aus Puzzolanen mit fettem Kalk, wie der Traß-, Santorinerde- ꝛc. Mörtel;
2) Wassermörtel aus natürlich hydraulischen Kalken;
3) Wassermörtel aus Romancementen;
4) Wassermörtel aus Portlandcement; dazu kommt noch
5) Wassermörtel aus Portlandcement und fettem Kalk, sogen. Cementkalkmörtel (auch verlängerter oder gestreckter Cementmörtel genannt).

Je nach seiner Bestimmung kann der hydraulische Mörtel entweder unvermischt für sich, oder, wie der gewöhnliche Kalkmörtel, mit einer gewissen Menge Sand gemengt angewendet werden. Guter hydraulischer Mörtel wird auch ohne Sandzusatz nicht rissig, wenn er unter Wasser erhärtet. Bei Anwendung an der Luft, wie zum Verputz u. s. w., ist es immer nothwendig, dem hydraulischen Mörtel Sand beizusetzen, weil er sonst beim Austrocknen leicht rissig wird. Man könnte daher in allen denjenigen Fällen, wo er stets vom Wasser bedeckt bleibt, ihn ohne allen Sandzusatz verwenden, indeß verarbeitet man ihn unter Wasser auch in den allermeisten Fällen unter Sandzusatz der Wohlfeilheit wegen. Für Mörtel, welche aus schwächeren hydraulischen Kalken dargestellt sind, ist der Sandzusatz eine wesentliche Verbesserung, ja die schwächsten unter ihnen könnten, wie der gewöhnliche Kalk, ohne Sand als Bindemittel gar nicht benutzt werden, weil sie, wie dieser, die erforderliche Festigkeit nicht besitzen; sie verhalten sich wegen des hohen Kalkgehaltes noch dem Luftmörtel ähnlich.

Reiner hydraulischer Mörtel ohne Sandzusatz findet nur Anwendung bei Mauerarbeiten unter Wasser, wo es auf schnelle Erhärtung und auf Wasserdichtigkeit insbesonders ankommt, z. B. bei Ausfüllung von Rissen und Sprüngen und Verstopfen von Quellen in Wassermauern, dann zur Befestigung von Eisen in Stein durch Vergießen mit Cement an Stelle von Blei, Gyps oder Schwefel und zum Gießen kleinerer Gegenstände in Formen, sowie zum Vollenden der mit Sandzusatz hergestellten Arbeiten.

In den allermeisten Fällen wird der Wassermörtel mit Sand oder ähnlichen dessen Stelle vertretenden Materialien versetzt verarbeitet. Wenn nun allerdings die gute Beschaffenheit eines Wassermörtels zunächst von der höheren oder geringeren Güte des dazu verwendeten Cementes abhängt, so ist doch auch, da die Festigkeit eines jeden mit Sand bereiteten Mörtels abhängt von der mehr oder minder starken Adhäsion der Cementmasse zum Sande, der zu verwendende Sand von großem Einfluß und es ist daher nicht jeder Sand für die Mörtelbereitung gleich tauglich; seine Güte hängt ab von der Reinheit, Beschaffenheit seiner Oberfläche und seiner Form, wie aus den auf S. 256 erwähnten Untersuchungen hervorgeht.

Für die Praxis der Mörtelbereitung ergiebt sich hieraus: Der anzuwendende Sand soll möglichst rein sein; ist die Oberfläche der Sandkörner mit erdigem leichtem Schlamm oder mit Thon (Lehm) fest überzogen, so ist dieses hinderlich für eine innige feste Verkittung und es ist dann nothwendig, ihn so lange mit

Wasser zu waschen, bis dasselbe fast klar abfließt. Ist der Lehm dem Sande nur lose beigemischt, so ist dieses weniger schädlich. Seesand, zu Hochbauten verwendet, sollte stets auch gewaschen werden, weil sein Salzgehalt ein starkes Efflorescieren verursacht und die Erhärtung beeinträchtigt.

Was die Form und die Beschaffenheit der Oberfläche der Sandkörner betrifft, so steht fest, daß die Festigkeit des Wassermörtels mit Sandzusatz auch abhängig ist von dem Rauhheitsgrade und der Größe des Sandkorns, doch ist der Rauhheitsgrad immer mehr ausschlaggebend als die Korngröße. Es wird daher in den meisten Fällen der Grubensand, welcher in der Regel scharf und eckig ist, dem Fluß- oder Seesande vorzuziehen sein, da bei diesen, obwohl meistens rein, die Körner durch die stete Bewegung des Wassers mehr abgerieben und daher meist rund und glatt geschliffen sind.

Im Allgemeinen ist zum Wassermörtel ein feiner Sand, wenn er die nöthige Schärfe hat, dem gröberen vorzuziehen, weil bei ersterem eine innigere Vermengung mit dem Cemente und eine bessere Vertheilung der Masse stattfinden kann; je weniger es auf Festigkeit und Dichtigkeit ankommt, desto gröberen Sand kann man anwenden. Nach Erfahrungen ist am geeignetsten für Wassermörtel ein guter reiner Quarzsand, weil derselbe an und für sich schon eine sehr große Festigkeit besitzt; indeß giebt es auch sehr brauchbare Kalksande, mit welchen sich oft bessere Resultate erzielen lassen, als mit minder guten oder schlechten Quarzsanden.

Wie viel Sand man dem hydraulischen Mörtel zusetzen darf, richtet sich einestheils nach dem Maß der für das zu erstellende Bauwerk geforderten Festigkeit, sowie nach dem zu erfüllenden Zwecke und anderntheils nach der Qualität des Cementes und Sandes. Je größer der Sandzusatz, desto langsamer findet die Erhärtung und Versteinerung des Wassermörtels sowohl im Wasser als in der Luft statt, und mit der Vermehrung des Sandzusatzes nimmt nicht allein die Festigkeit und Bindekraft, sondern auch die Wasserdichtigkeit des Wassermörtels ab. Handelt es sich daher z. B. um wasserdichte Bauwerke oder Gefäße, so darf das Mischungsverhältniß 1 : 1 nicht überschritten werden.

Betreffs der Stärke (Festigkeit) von Portlandcementmischungen (Cementmörteln) haben die sieben Jahre lang fortgeführten Untersuchungen Grant's folgende Erfahrungssätze ergeben[1]):

1) Reiner Portlandcement ist stärker als irgend eine Mischung desselben mit Sand.
2) Mit dem gleichen Volumen Sand gemischt, beträgt die Stärke der Mischung nach Jahresfrist um 75 Proc. von der des reinen Cementmörtels.
3) Mit 2 Thln. Sand desgl. 50 Proc.
4) „ 3 „ „ „ 33 „
5) „ 4 „ „ „ 25 „

[1]) Deutsche Bauzeitung 1876, Nr. 23 u. 101. Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1876, S. 686.

6) Mit 5 Thln. Sand desgl. 16 bis 17 Proc.
7) „ 6 „ „ „ 14 Proc.

Bisher gemachte Erfahrungen haben im Allgemeinen ergeben, daß ein Cement, je langsamer er abbindet und eine je größere Festigkeit er an und für sich erlangt, und je feiner der Cement gemahlen ist, einen desto reichlicheren Sandzusatz verträgt. Genaue Vorschriften lassen sich aber überhaupt nicht geben, auch ist es nicht möglich, die an einem Orte gemachten Erfahrungen über Mischungsverhältnisse von Cement und Sand ohne Weiteres auf einen anderen Ort überzutragen, da die Beschaffenheit der jeweils disponiblen Materialien nie die gleiche ist, und namentlich der Sand von großer Bedeutung ist.

Es sollte daher immer, aber namentlich bei größeren Bauausführungen, der Versuch über die Menge des zuzusetzenden Sandes entscheiden; erwägt man aber, daß die Zwischenräume bei Sand im Mittel $^4/_{10}$ seiner Masse betragen, und daß nur dann nach dem Erhärten ein dichter fester Mörtel erwartet werden kann, wenn ein jedes Sandkorn von verkittender Cementmasse umhüllt ist, so scheint, wenigstens für Portlandcement, ein Zusatz von 3 Vol. Sand auf 1 Vol. Cement die oberste Grenze zu sein.

Selbstverständlich ist, daß je nach der Feinheit der auszuführenden Arbeiten verschiedene Sorten von Mörtel zur Anwendung gebracht werden müssen, welche aus der Rauhheit, Korngröße und Menge des zu verwendenden Sandes resultiren.

Das Wasser, welches zur Mörtelbereitung verwendet wird, soll ebenfalls rein und frei sein von Substanzen, welche die Adhäsion der Theilchen an einander beeinträchtigen, wie Thon, Schlamm, Fett ꝛc.

Was die Menge des Wassers betrifft, so ist allerdings das zum Anmachen zulässige Verhältniß von Wasser in ziemlich weite Grenzen eingeschlossen, insofern ein hydraulischer Mörtel selbst mit einem Ueberschuß von Wasser zu Schlamm angerührt, noch erhärtet; aber immerhin ist es zweckmäßiger und besser, die zum Anmachen des Mörtels verwandte Quantität Wasser möglichst zu beschränken und den Mörtel so dickflüssig, als es thunlich ist, zu machen, weil die Festigkeit und Widerstandsfähigkeit eines Mörtels wesentlich auch von der Menge des in seiner Masse im Abbindungsmomente vorhandenen Wassers abhängt, wie die Festigkeitsversuche S. 237 auch beweisen.

Genaue Angaben über die Menge des erforderlichen Wasserquantums sind bei der Verschiedenheit der Cemente nicht möglich. Im Allgemeinen ist der Wasserzusatz zum Mörtel je nach der Bindezeit des Cementes, nach den Temperaturverhältnissen und nach der Art der Verwendung des Mörtels größer oder geringer zu nehmen. Dem Mörtel aus rasch bindendem Cement ist ein etwas größerer Wasserzusatz als jenem aus langsam bindendem Cemente zu geben. Ist der Mörtel, wie dieses oft vorkommt, nur durch Eingießen anzubringen, muß man ihn aus diesem Grunde flüssig anrühren.

Dr. Michaëlis hat die Ausgiebigkeit des Portlandcementmörtels ermittelt und macht hierüber folgende Angaben[1]):

[1]) Deutsche Bauzeitung 1876, Nr. 23 u. 101. Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1876, S. 689.

Cement	Sand	Wasser	Geben Mörtel	100 Liter des Mörtels wiegen
100 Liter	100 Liter	53 Liter	166,7 Liter	201,55 kg
100 „	200 „	76 „	266,2 „	193,05 „
100 „	300 „	107 „	371,4 „	189,55 „
100 „	400 „	132 „	470,5 „	187,45 „
100 „	500 „	163 „	569,9 „	187,40 „
100 „	600 „	194 „	699,2 „	187,40 „
100 „	700 „	221 „	771,3 „	186,05 „
100 „	800 „	252,5 „	870,7 „	186,05 „
100 „	900 „	276,5 „	968 „	186,05 „
100 „	1000 „	300 „	1063,4 „	186,05 „

Nach Dr. W. Michaëlis ist derselbe Apparat, welchen er construirte zur Ermittelung der Ausgiebigkeit des gebrannten Kalkes an Kalkbrei, und welcher in Fig. 1 auf Seite 7 dargestellt ist, auch sehr geeignet zur Bestimmung der Mörtelausgiebigkeit der Cemente. Hierbei sollte normaler Portlandcementmörtel aus 1 Gewthl. Cement und 3 Gewthln. Sand (Kiessand zwischen 60 und 120 Maschen pro Quadratcentimeter) mit höchstens 60 ccm Wasser auf 100 g Cement und 300 g Sand angemacht werden; schnell bindende Cemente, Romancemente und hydraulische Kalke erfordern bis zu 80 ccm Wasser. In jedem Falle sollte der Versuch so ausgeführt werden, daß auf dem eingerüttelten, festgesetzten Mörtel noch einiges Wasser (1 bis 2 ccm) steht.

300 g völlig trockener Sand und 100 g Cement werden auf einem glatten, etwa 35 cm im Quadrat haltenden Papierbogen gut durcheinander gemengt und in die zuvor mit 50 ccm Wasser gefüllte Metalldose geschüttet; durch leichtes Aufsetzen derselben wird die Masse etwas zusammengerüttelt, darauf wird der Rest des anzuwendenden Wassers (meist 100 ccm) aus einer Meßpipette dicht über dem Mörtel tropfenweise ausfließend vertheilt. Alsdann wird fünf Minuten lang durch kräftiges Aufsetzen der Dose auf den zweckmäßig mit einer Gummi- oder Lederplatte belegten Arbeitstisch der Mörtel verflüssigt und werden dadurch die Luftblasen nach Möglichkeit zum Austritt gebracht. Sollte der Mörtel bei Anwendung von 60 ccm Wasser dabei nicht beweglich werden, so nimmt man je 1 ccm Wasser mehr, so lange bis beim kräftigen Aufsetzen (aus je 1 cm Höhe) die Verflüssigung eintritt. Man läßt dann bei aufgesetztem Deckel (um das Verdunsten des Wassers aus dem Mörtel zu verhüten) den Apparat 24 Stunden, bei sehr langsam bindendem Cement 48 Stunden an einem vor der Sonne geschützten Orte stehen.

Nach dieser Frist wird das überschüssige Wasser vorsichtig vom hinreichend erhärteten Mörtel abgezogen, was am besten mittelst eines seitlich angelegten Fließpapierstreifens bewirkt werden kann. Die auf einander geschliffenen Flächen der Dose und ihres Deckels werden sorgfältig gereinigt und mäßig gefettet, der Deckel aufgedreht und der Apparat so in die Klemmvorrichtung eingespannt, daß die Theilung auf der Meßröhre dem Experimentator zugewendet ist.

Die dem Apparate beigegebene Vollpipette wird (durch Aufsaugen luftfreien Wassers) bis zur Marke gefüllt und alsdann durch die Meßröhre in den Apparat

entleert, indem man das Wasser langsam an der Innenwandung der Meßröhre niederfließen läßt. Nach fünf Minuten Pause läßt man etwa unter dem Deckel festgesetzte Luftblasen durch eine in geneigter Lage ausgeführte Kreisbewegung des Apparates aufsteigen und entweichen, um nach weiteren zwei Minuten den Stand des Wassers (unterer Meniscus) und damit die entfallenden Cubikcentimeter Mörtel direct abzulesen, bei der Mischung 1 : 3.

Es kann übrigens jeder innerhalb der Grenzen 400 bis 500 g gemischte Mörtel volumetrisch bestimmt werden, wobei man nur zu berücksichtigen hat, daß die am Anfang der Theilung der Meßröhre eingeschriebene kleine Zahl den Inhalt der Dose bis zur Theilung angiebt, von da ab aber 100 ccm auf der Meßröhre abgetheilt sind. Der Apparat ist nach erfolgter Ablesung jedesmal sofort zu reinigen, wobei der erhärtete Mörtel mit einem gewöhnlichen, vorn abgerundeten Tischmesser herausgestochen werden kann.

Ein wichtiges Criterium der Cemente ist diese Bestimmung nicht, wenn schon mit Hülfe derselben das Mörtelvolumen relativ sehr genau bestimmt werden kann; wichtiger ist, daß auf diese Weise überhaupt die Mörtelvolumina verschiedener Mischungen genau verglichen werden können. Es muß ferner darauf hingewiesen werden, daß andere Quantitäten Mörtel andere Zahlen, d. h. nicht übereinstimmende Zahlen ergeben, daß der Mörtel um so dichter gefunden, das Volumen also um so kleiner gefunden wird, je größer die angemachte Menge ist, genau so, wie das absolute Gewicht von Cement um so größer gefunden wird, je größer das Gefäß ist, in welchem derselbe (lose eingelaufen) abgewogen wird [1]).

Bei der Bereitung der hydraulischen Mörtel sollte bei sehr schnell bindenden Cementen der trockene Sand zuerst mit dem trockenen Cementpulver gut vermischt und alsdann erst unter fleißigem Umrühren die erforderliche Wassermenge hinzugefügt werden; nur auf diese Weise gelingt es, bei schnell bindenden Cementen einen gleichmäßigen und innig gemischten Mörtel zu erhalten. Verwendung von feuchtem Sande ist nicht thunlich, weil schon durch die dem Sande anhaftende Feuchtigkeit ein theilweises Binden der ihn bei der Vermischung berührenden staubartigen Cementtheilchen erfolgt, wodurch die innige Mischung dann erschwert wird. Auch darf ein Mörtel mit schnell bindendem Cement stets nur in kleinen Mengen auf einmal mit Wasser angerührt werden, und derselbe muß dann auch rasch verarbeitet werden.

Bei langsam bindenden Cementen kann man auch den Cement zuerst mit Wasser zu der gewünschten Mörtelconsistenz anrühren und dann erst das abgemessene Sandquantum zufügen und unterarbeiten.

Ueberhaupt ist auf die Zubereitung des Mörtels die größte Sorgfalt zu verwenden und man sollte hierbei nicht die Mühe scheuen, den Mörtel gehörig durchzukneten, da längere Zeit fortgesetztes sorgfältiges Durcharbeiten den Mörtel geschmeidiger, mehr bindend und viel erhärtungsfähiger macht. Bei größeren Bauten, wo man größere Massen von Mörtel nothwendig hat, reicht daher zur Herstellung einer innigen Mischung die Handarbeit nicht mehr aus und man muß daher hierzu Mörtelmaschinen verwenden.

---

[1]) Deutsche Töpfer- u. Ziegler-Ztg. 1879, Nr. 13.

Was die Behandlung des Wassermörtels bei seiner Verwendung betrifft, so setzt diese eine genaue Kenntniß der Erscheinungen, welche das Festwerden des Mörtels zur Folge haben, voraus. Nach dem Anmachen des Mörtels hört zuerst der flüssige oder breiige Zustand auf, der Mörtel gesteht und geht in den festen Zustand über, aber noch ohne bemerkenswerthe Härte; die festgewordene Masse ist mit dem Nagel noch leicht ritzbar und mit dem Messer schneidbar, man hat für diese Erscheinung die Bezeichnung Anziehen oder Abbinden. Der abgebundene Mörtel nimmt dann erst allmälig die Härte eines Steines an.

Zum Uebergang des breiigen Mörtels in eine feste Masse (Abbinden) ist als erste Bedingung Ruhe erforderlich, indem jede Störung in der Lage der Theilchen die Bindung stört. Die weitere Erhärtung, der Uebergang in eine steinharte Masse, ist an ein längeres Vorhandensein von Wasser geknüpft, denn da die eigentliche steinige Erhärtung vorzugsweise auf einer chemischen Bindung von Wasser basirt ist, so kann der volle Effect beim Erhärten nur dann erzielt werden, wenn dem Mörtel Gelegenheit geboten ist zur genügenden Wasseraufnahme.

Manche hydraulische Mörtel bedürfen nur wenige Minuten, andere Stunden, noch andere Tage zum Abbinden. Die Annahme der Steinhärte erfordert stets lange Zeit und ist nie unter einem, meistens erst nach Monaten und Jahren beendigt.

Hieraus ergeben sich die Regeln für das Anmachen und die Behandlung des Wassermörtels. Da das Anziehen des hydraulischen Mörtels viel schneller als beim Luftmörtel erfolgt, darf man denselben nicht in so großer Menge vorräthig anmachen als jenen; je rascher das Anziehen, um so weniger mache man an und nie mehr, als man in der Zeit bis zum Abbinden verarbeiten kann. Mörtel, der während der Mittagszeit oder gar über Nacht in den Pfannen stehen geblieben ist, also nicht aufgebraucht wurde, und daher ganz oder theilweise erhärtet und steif geworden ist, darf unter keiner Bedingung mehr verwendet werden.

Das Anhaften des Mörtels an die Fläche der zu verbindenden Steine setzt voraus, daß der angemachte Mörtel den Stein vollständig und gut benetzt. Trockene Steine von saugender Beschaffenheit entwässern den Mörtel an den Berührungsflächen so sehr, daß er nicht mehr haftet und keine Bindung und Erhärtung stattfinden kann. Aus diesem Grunde ist daher eine vorausgehende Tränkung der Steine mit Wasser nothwendig und Regel; je sorgfältiger und nachhaltiger das gehörige Annässen vor sich geht, zumal bei langsam bindenden Cementen, desto größere Festigkeit gewinnt der Wassermörtel. Bei so mit Wasser gesättigten Steinen kann dann auch ein etwas derb- oder dickflüssig zubereiteter Mörtel verwendet werden. Das Anwässern der Steine kurz vor der Verwendung des Mörtels in gewöhnlicher Weise, durch Bespritzen mit dem Maurerpinsel, genügt bei Cementmörtel aber durchaus nicht. Vielmehr müssen die Steine vor der Verwendung in einem Gefäß mit Wasser bis zur Sättigung eingetaucht werden. Auch sollten die Steine von Schmutz und Staub gereinigt werden. Backsteine dagegen mit sehr glatter Oberfläche hindern wegen dieser Glätte das kräftige Anhaften des Wassermörtels.

Sollen Mauerflächen mit Wassermörtel verputzt werden, so ist ebenfalls unerläßlich, daß die Oberfläche derselben vorher von Staub, Schmutz, Kalkmörtel ꝛc. sorgfältig gereinigt, abgewaschen und dann wiederholt genetzt werde. Wird die Oberfläche nicht vor dem Auftragen des Verputzes gehörig naß gemacht, so entzieht der trockene Stein dem Mörtel das zu seiner Erhärtung erforderliche Wasser, der Verputz haftet schlecht und wird nie die volle Härte und Festigkeit erlangen. Verputzarbeiten sollten auch, um ihnen die größtmöglichste Erhärtung und Festigkeit zu sichern, namentlich wenn sie der Sonne und der Zugluft ausgesetzt sind, längere Zeit nachher noch durch häufig wiederholtes Annetzen mit reinem Wasser feucht gehalten werden.

Man sieht nun öfters, daß Verputze, selbst bei tadelloser Qualität des Cementes, nach einiger Zeit rissig werden, bisweilen sogar abblättern. Solche Verputze bestehen in der Regel aus mehreren dünnen Schichten, deren oberste der leichteren Verarbeitung wegen aus einem sehr fetten Mörtel besteht, dem oft sogar noch ein Ueberzug aus reinem Cement gegeben wird. In Folge der Witterungseinflüsse dehnen und schwinden die fetten oberen Schichten in höherem Grade als die unteren und geben hierdurch zu Rissen und zum Abblättern Veranlassung. Diese Uebelstände entstehen nicht, wenn man vor Allem reinen Cement an der Oberfläche sowie dünne Schichten aus fettem Cementmörtel vermeidet und wenn man ferner danach strebt, den Verputz in seiner ganzen Masse möglichst homogen herzustellen. Nach Dyckerhoff[1]) erhält man selbst bei Anwendung von 2 bis 3 Thln. feinem Sand auf 1 Thl. Portlandcement noch Mörtel, welche für die Herstellung glatter Verputzflächen hinreichend geschmeidig sind; bei stärkerem Sandzusatz, wo also nur geringere Festigkeit beansprucht wird, ist dagegen ein Zusatz von Fettkalk nöthig. Es lassen sich z. B. Verputze aus 1 Thl. Portlandcement, 5 Thln. Sand und 1 Thl. Kalkteig ausführen, die eine schöne Oberfläche besitzen und sich sehr gut halten.

Selbstverständlich ist auch, daß der Wassermörtel so lange vor der Einwirkung des Frostes zu schützen ist, bis der angemachte Mörtel den Erhärtungsproceß soweit durchgemacht hat, daß der größte Theil des in dem Mörtel enthaltenen Wassers durch die chemische Bindung des Cementes in die feste Form übergeführt worden ist. Dieses ist in der Regel schon nach Verlauf von 14 Tagen der Fall, denn dann ist im Allgemeinen nur noch $1/4$ bis $1/3$ des zu bindenden Wassers frei; nach vier Wochen pflegt sämmtliches Wasser gebunden und das überschüssige zum allergrößten Theile verdunstet zu sein. Nach dieser Seite hin sieht man aber, daß an seine Leistungsfähigkeit oft wunderbare Anforderungen gestellt werden. Man verwendet den Wassermörtel häufig mitten im Winter oder doch zu Zeiten, wo jede Nacht Frost eintritt, der dann die unzeitig vorgenommenen Arbeiten nicht nur beschädigt, sondern sie auch vollkommen zerstört.

Erdmenger hat die Erhärtungsintensität des Portlandcementmörtels unter den verschiedenen Einflüssen der Luft, des Wassers und der Wärme festzustellen gesucht; derselbe hat die Resultate seiner Forschungen in nachfolgende Sätze zusammengefaßt[2]): Ein Cementmauerwerk, das nur an der

---

[1]) Thonind.-Ztg. 1882, S. 101. — [2]) Ebend. 1878, S. 278; 1880, S. 6.

Luft erhärtet, muß, wenn eine stetig fortschreitende Erhärtung eintreten soll, möglichst andauernd feucht gehalten, namentlich aber längere Zeit vor Zug, Sonne, überhaupt vor Wärme geschützt werden. Die *Wasserfestigkeit*, die nach den Normen angenommen werden kann, wenn normaler Portlandcementmörtel (1 Thl. Cement, 3 Thle. Sand) einen Tag an der Luft, 27 Tage im Wasser sich befunden hat, erleidet stets, wie auch die normale *Luftfestigkeit*, welche sich nach kurzer Frist durch das Anmachewasser vollzieht, eine weitere *Nachhärtungsfestigkeit*; eine solche oft sehr bedeutende Nachhärtung erfolgt bei allen Cementmörteln, welche nach einer gewissen Erhärtungsfrist aus dem Wasser genommen und an die Luft gelegt werden. Eine solche Nachhärtung an der Luft bleibt oft 1 bis 2 Monate auf gleicher Höhe, geht dann aber allmälig bis auf die normale Wasserfestigkeit wieder zurück, wenn Schutz gegen austrocknenden Zug oder vor Wärme vorhanden war.

Dementsprechend kann die *Erhärtungsintensität aufs Höchste gesteigert*, die Festigkeit, welche im Wasser erst nach Jahresfrist oder noch darüber eintreten würde, in viel kürzerer Zeit, oft schon nach vier bis fünf Wochen erreicht werden, wenn der Cementsandmörtel drei bis vier Wochen wenigstens im Wasser erhärten konnte, bevor er der Erhärtung in ruhiger Luft ausgesetzt wird.

Werden aber dann die nachgehärteten Proben wieder in Wasser gelegt, so sinkt die oft so hohe Nachhärtungsfestigkeit wieder auf die normale Wasserfestigkeit herab.

Während *frisch bereitete* Cementmörtel unter intensiv *wasserentziehenden* Einflüssen nicht normal erhärten können, kann ein Cementsandmörtel, der bereits längere Zeit normal erhärtete, eine intensivere trockenere Wärme von 80 bis 180^{0} vertragen, ohne unter die Wasserfestigkeit zurückzugehen. Hieraus folgt, daß alles Cementmauerwerk, welches intensiveren Wärmeeinwirkungen ausgesetzt werden soll, längere Zeit vor dem Gebrauche in gewöhnlicher Temperatur stehen gelassen werden muß, wenn man sich Haltbarkeit davon versprechen will.

Die nach längerer Erhärtungsdauer der Wärme ausgesetzt gewesenen Cementmörtel nehmen, wenn sie wieder in gewöhnliche Temperatur gebracht werden, wieder an Wassergehalt zu, wenn auch nicht zu der Höhe, bis zu welcher es ohne den Wärmeeinfluß geschehen wäre; aber die Festigkeit steigt nicht weiter, oder erfährt doch nur allmälig eine geringe Steigerung.

Werden endlich *normal erhärtete* Cementsandmörtel über 180^{0}, etwa bis auf 200^{0} erwärmt, so geht derselbe in seiner Festigkeit mehr und mehr zurück und nimmt einen mehr oder weniger gelockerten Zustand an. Sind hierbei keine Risse entstanden, so erhärtet solcher Mörtel aber wieder mehr oder weniger, sobald er in Wasser gelegt, bezw. hinreichend und andauernd mit Feuchtigkeit versehen wird.

Diese von *Erdmenger* gewonnenen Resultate haben insoferne praktische Bedeutung, als das Cementmauerwerk durch Dampfmaschinenbetrieb, durch heiße Luft, durch Dampf, durch heißes Wasser stark verändert werden kann.

Was nun die *Wassermörtel aus Puzzolanen* (Puzzolanerde, Traß, Santorinerde &c.) betrifft, so fehlt diesen fast ganz der Kalk und daher muß denselben, damit sie einen unter Wasser erhärtenden Mörtel geben können, Kalk zu-

gesetzt werden. Bei der Bereitung dieser Mörtel ist vor Allem nöthig, daß die hierzu verwendeten Puzzolanen in ein sehr feines Pulver verwandelt werden und die Mischung mit dem gelöschten Kalk (Kalkhydrat) so innig und so dicht als irgend thunlich ist, hergestellt wird.

Da die Puzzolanen ihrer Natur nach sehr verschieden sind, so empfiehlt es sich, immer vergleichende Versuche mit den verschiedensten Mischungsverhältnissen anzustellen, um zu ermitteln, welches unter ihnen im speciellen Falle die besten Resultate giebt.

Die Puzzolanerde, welche schon von den Römern zu ihren Wasserbauten benutzt wurde, hat in neuester Zeit in ausgedehntem Maße bei den Wasserbauten der Istrianerbahn Verwendung gefunden, worüber M. Kovatsch Nachstehendes berichtet[1]). Mit Fettkalk gemischt giebt die italienische Puzzolanerde sehr gute Mörtel. Die Mischung von 1 Thl. Kalk und 3 Thln. Puzzolanerde ergab das beste Resultat; das Mischungsverhältniß 2 : 5 bewährte sich fast ebensogut, jenes von 1 : 2 war merklich schwächer und die Mischung von 2 : 3 entsprach den gestellten Anforderungen nicht mehr. Die ersteren zwei Mörtelproben waren erst dann von besonderer Güte, wenn sie längere Zeit der Luft ausgesetzt waren, man konnte nach sechs Wochen mit dem Meißel unter dem Hammer nur schwer eindringen. Als die Proben nach dieser Zeit ins Wasser gethan wurden, konnten nach weiteren drei Wochen unter dem Meißel davon nur mit großer Kraftanstrengung Stücke abgetrennt werden. Nach vier bis fünf Monaten erhärtete der Puzzolanmörtel vollkommen. Wurde der Mörtel schon nach ein bis zwei Tagen ins Wasser gebracht, so ging die Erhärtung nur langsam vor sich, nach mehreren Monaten hatte er noch nicht jenen Härtegrad erreicht, welchen der Mörtel besaß, nachdem er vier bis sechs Wochen der Luft allein ausgesetzt war. Sollte sich der Erhärtungsproceß einigermaßen günstig gestalten, so lehrte die Erfahrung, daß der Puzzolanmörtel mindestens 8 bis 10 Tage der Luft auszusetzen und dann erst unter Wasser zu geben war. Am nothwendigsten ward diese Vorsichtsmaßregel für schnell strömendes Wasser, da dasselbe auf die Mörtelerhärtung ungünstig einwirkte.

Der Santorinmörtel, welcher in der neuesten Zeit namentlich bei den Hafenbauten in Fiume mit dem besten Erfolge angewendet wurde, bestand aus 4 Thln. Kalk, 11 Thln. Santorinerde und 1 Thl. Sand.

Einen guten Traßmörtel erhält man aus 2 Raumthln. Traß und 1 Raumthl. Fettkalk oder aus 1 Raumthl. Traß und 1 Raumthl. hydraulischen Kalk.

Wie aus den hier mitgetheilten Mischungsverhältnissen der Puzzolanmörtel zu ersehen ist, so wird zur Herstellung derselben verhältnißmäßig wenig Kalk verwendet. Dieses erklärt sich dadurch: Die Puzzolanen (Puzzolanerde, Traß und Santorinerde) enthalten (die Zusammensetzung derselben s. S. 79 u. f. f.) neben amorpher Kieselsäure und durch Säuren zersetzbarer Silicate auch nicht aufgeschlossene Kieselsäure und Silicate, welche durch Säuren nicht zersetzt werden.

---

[1]) Wochenschrift d. österr. Ing.- u. Archit.-Vereins 1883, S. 217. Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1883, S. 649.

Erstere sind nur für den Kalk leicht zugänglich und bilden mit demselben unter Mitwirkung von Wasser erhärtende Verbindungen; dagegen kann der Kalk auf die schwerer zersetzbaren Puzzolantheilchen nur sehr langsam und allmälig einwirken, welche sich demnach mehr wie Sand verhalten. Wird nun zu einem Puzzolanmörtel viel mehr Kalk verwendet, als der Menge der dem Kalk leicht zugänglichen Bestandtheile entspricht, so verbleibt lange Zeit ein großer Theil Kalk frei im Mörtel; während dieser Zeit ist derselbe der Einwirkung des Wassers ausgesetzt und wird aufgelöst und die Dichtigkeit und Festigkeit des Mörtels wird dadurch gefährdet.

Wie S. 77 erwähnt wurde, erlangt der gewöhnliche Luftmörtel durch eine geringe Beimischung von Cement, namentlich von Portlandcement, eine größere Festigkeit und Widerstandsfähigkeit, d. h. er wird verbessert, indem nicht allein die Erhärtung wesentlich beschleunigt, sondern zugleich die Festigkeit wesentlich gesteigert wird. Aus diesem Grunde hat man schon seit längerer Zeit einen mit Cementzusatz verbesserten Kalkmörtel mit bestem Erfolge in verschiedenster Weise angewendet, wie zur Darstellung von Putzflächen, zu Bauten über und in der Erde, wie im Wasser, zu Kalkmörtelsteinen 2c.

Da bei der großen Verschiedenheit der Kalkgattungen allgemeine Normen bezüglich der Mischungsverhältnisse nicht zu geben sind, so sind auch hier durch eigene Versuche mit den vorhandenen Materialien die zweckdienlichsten Mischungen zuvor zu erproben[1]).

In neuester Zeit werden aber nun auch in der Baupraxis Mischungen von Portlandcement mit fettem Kalkmörtel angewendet, welche als Cementkalkmörtel, oder auch als verlängerte oder gestreckte Cementmörtel bezeichnet werden.

Guter Portlandcement liefert selbst mit hohem Sandzusatz, z. B. 6 oder 7 Thln., einen Mörtel, dessen Festigkeit für viele Zwecke vollkommen ausreicht. solcher magerer Mörtel wird aber in der Baupraxis nicht angewendet, da er zu kurz und kaum zu verarbeiten ist und zu wenig Adhäsion am Stein besitzt. Versuche haben nun ergeben, daß ein Zusatz von Fettkalk den Cementmörtel mit hohem Sandzusatz zur Verarbeitung geeignet mache; dieses veranlaßte R. Dyckerhoff, eine specielle eingehende Untersuchung über den Einfluß der Beimischung von Kalk zu Portlandcementmörtel bei dessen Anwendung zu Hoch- und Wasserbauten vorzunehmen[2]). Es wurde dabei mit geringem Kalkzusatz angefangen und dieser um so mehr gesteigert, je mehr der Sandzusatz sich steigerte. Der Kalk wurde stets in Form von Kalkbrei angewandt. Die Mörtelmischungen wurden dann auf Zug- und Druckfestigkeit geprüft und einige derselben auch auf ihre Adhäsion am Stein.

Die Zugfestigkeit wurde ganz nach dem Verfahren der Normen ermittelt und der Wasserzusatz bei sämmtlichen Proben so bemessen, daß der Mörtel, nach dem Normenverfahren eingeschlagen, stets dieselbe Consistenz hatte. Zur Bestim-

[1]) Becker, Praktische Anleitung zur Anwendung der Cemente 1868, S. 58.

[2]) Deutsche Bauzeitung 1879, Nr. 39. Notizbl. für Fabrik. v. Ziegeln 2c. 1879, S. 189. Wagner's Jahresber. der chem. Technol. 1879, S. 648.

mung der Druckfestigkeit wurde nicht die meist übliche Würfelform, sondern aus S. 273 angegebenen Gründen eine Kreisform benutzt.

Zur Bestimmung der Adhäsion der Mörtel am Stein wurden je zwei Ziegelsteine kreuzweise mit einander verkittet, die verkittete Fläche betrug 144 qcm. Zu jedem Einzelversuch diente 0,2 Liter des zu einem steifen Brei angemachten Mörtels und wurden die Ziegelsteine mit Hülfe der Wasserwage immer parallel mit einander vermauert resp. verkittet. Die Ziegelsteine wurden von möglichst gleicher Qualität ausgewählt und waren vorher mit Wasser getränkt. Diese Proben erhärteten an der Luft und wurden einmal, und zwar nach sieben Tagen, genäßt. Bei der Prüfung wurde das Probekreuz auf zwei eiserne Träger so aufgelegt, daß der untere nunmehr frei hängende Stein mit Hülfe eines auf denselben gesetzten Bügels ⌐¬ durch directe Belastung abgerissen, bezw. abgedrückt werden konnte.

Von den erlangten Resultaten sind zwei Versuchsreihen in den Tabellen I. und II. zusammengestellt.

(Tabellen I. und II. siehe Seite 312 und 313.)

Aus diesen Tabellen ergiebt sich, daß mit einem geringen Zusatz von Fettkalk anfangend, bei den angegebenen Mischungsverhältnissen die Zug- und insbesondere die Druckfestigkeit erhöht wird, bis der Kalkzusatz ungefähr diejenige Höhe erreicht, welche die Tabellen angeben. Ueberhaupt geht aus allen bisher angestellten Versuchen hervor, daß magere Cementmörtel bei steigendem Kalkzusatz bis zu einer gewissen Grenze dichter werden und daß in Folge dessen auch die Festigkeit bis dahin gesteigert wird. Damit übereinstimmend nimmt das Gewicht der Probekörper zu. Geht man mit dem Kalkzusatz noch höher, so verringern sich Dichtigkeit und Festigkeit der Mörtel und Gewicht der Probekörper, wie dies beispielsweise folgende Versuchsreihe, die nach 28tägiger Wassererhärtung erhalten ist, zeigt:

Tabelle III.

Mischungsverhältniß	Zugfestigkeit kg pro qcm	Gewicht von 10 Probekörpern Gramm	Druckfestigkeit kg pro qcm	Gewicht von 10 Probekörpern Gramm	Bemerkungen.
1 Cement, 5 Sand	8,0	1462	136,4	1930	Bindezeit des Cements 45 Minuten, Rückstand auf dem 900-Maschensieb 7,5 Proc. Der Sand war gewöhnlicher Rheinsand.
„ + ¼ Kalkhydrat	9,1	1512	162,3	1975	
„ + ½ „	8,5	1540	207,9	2015	
„ + ¾ „	7,7	1525	188,1	2004	
„ + 1 „	6,9	1518	169,4	1998	
„ + 1½ „	6,6	1480	116,1	1955	

Ta

Mischung Gewthl.		Zugfestigkeit kg pro Quadratcentimeter										Druckfestigkeit kg pro Quadratcentimeter				
		3 Thle. Sand		5 Thle. Sand		6 Thle. Sand		7 Thle. Sand		8 Thle. Sand		3 Th. Sand	5 Th. Sand	6 Thle. Sand	7 Thle. Sand	8 Th. Sand
Cement	Kalk	1 Woche	4 Wochen	1 Woche	4 Wochen	1 Woche	4 Wochen	1 Woche	4 Wochen	1 Woche	4 Wochen	4 Wochen	4 Wochen	4 Wochen	4 Wochen	[illegible]
1	—	11,0	15,8	5,7	9,7	3,9	6,4	—	—	—	—	338,9	164,5	108,9	—	–
1	1/8	11,9	16,6	7,7	11,2	—	—	—	—	—	—	387,2	213,4	—	—	–
1	1/4	12,8	18,2	7,2	10,6*	6,0	10,2	—	—	—	—	442,2	224,4	176,0	—	–
1	3/8	—	—	6,7	9,8	5,9	9,3	4,4	8,4	—	—	—	254,1	174,4*	145,2	–
1	1/2	—	—	5,5	9,0	5,6	9,4	5,0	7,0	3,2	6,1	—	239,8	190,9	136,4*	[illegible]
1	3/4	—	—	—	—	5,3	8,1	4,2	6,4	2,7	5,2	—	—	247,5	178,2	[illegible]
1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	2,5	4,4	—	—	—	—	[illegible]

Unter Kalk ist hier, wie in Tabelle II., trockenes Kalkhydrat zu verstehen, von welchen
Theilen Kalk blieben an der Luft. Die mit * bezeichneten Zahlen

Ta

Mischung Gewthl.		Zugfestigkeit kg pro Quadratcentimeter								Druckfestigkeit kg pro Quadratcentimeter							
		3 Thle. Sand		5 Thle. Sand		7 Thle. Sand		10 Thl. Sand		3 Thle. Sand		5 Thle. Sand		7 Thle. Sand		10 Th. Sand	
Cement	Kalk	4 Wochen	12 Woch.	4 Wochen	12 Woch.	4 Wochen	12 Woch.	4 Wochen	12 Woch.	4 Wochen	12 Woch.	4 Wochen	12 Woch.	4 Wochen	12 Woch.	4 Wochen	[illegible]
1	0	13,1	17,7	7,2	10,5	3,5	5,5	2,5	4,3	266,2	361,9	116,6	173,8	58,3	84,7	38,5	[illegible]
1	1/4	14,5	18,9	7,8	11,6	—	—	—	—	359,7	473,0	150,7	221,1	—	—	—	–
1	1/2	—	—	—	—	4,1	6,3	—	—	—	—	—	—	131,5	167,2	–	
1	1	—	—	—	—	—	—	2,2	3,6	—	—	—	—	—	—	78,1	[illegible]

le I.

Zugprobekörper wiegen Gramm				10 Druckprobekörper wiegen Gramm					Bemerkungen.
Sand				Sand					
5 Thle.	6 Thle.	7 Thle.	8 Thle.	3 Thle.	5 Thle.	6 Thle.	7 Thle.	8 Thle.	
1445	1400	—	—	1972	1880	1849	—	—	Der Cement hatte $4\frac{1}{2}$ Stunden Bindezeit und 5,5 Proc. Rückstand auf dem 900-Maschensiebe.
1455	—	—	—	2004	1940	—	—	—	
1490	1460	—	—	2030	1960	1937	—	—	
1532	1490	1450	—	—	1986	1950	1925	—	
1522	1512	1475	1450	—	2000	1976	1936	1870	
—	1535	1523	1490	—	—	2000	1974	1930	
—	—	—	1505	—	—	—	—	1936	

:wthl. ungefähr 2 Gewthle. Kalkbrei entspricht. Die Mischungen von $\frac{1}{2}$ und mehr ten in Folge von Operationsfehlern zu niedrig zu sein.

le II.

10 Zugproben wiegen Gramm				10 Druckproben wiegen Gramm				Bemerkungen.
Sand				Sand				
[illegible]	5 Thle.	7 Thle.	10 Thle.	3 Thle.	5 Thle.	7 Thle.	10 Thle.	
09	1448	1355	1277	1978	1895	1740	1740	Der Cement hatte 45 Min. Bindezeit und 10,5 Proc. Rückstand auf dem 900-Maschensiebe. Alle Proben erhärteten im Wasser.
65	1478	—	—	2055	1965	—	—	
-	—	1475	—	—	—	1935	—	
-	—	—	1460	—	—	—	1945	

Aus Tab. III. auf S. 311 ist ersichtlich, daß die Druckfestigkeit und Dichte eines Mörtels aus 1 Thl. Cement zu 5 Thln. Sand bei $^1/_2$ Gewthl. Kalkhydrat (d. i. 1 Gewthl. Kalkbrei) ihr Maximum erreichen, während die Zugfestigkeit schon früher anfängt abzunehmen; im Allgemeinen kann man sagen, daß fette Cementmörtel durch Kalkzusatz verschlechtert, magere dagegen verbessert werden.

Aus Tab. I. u. II., S. 312 u. 313, geht ferner hervor, daß die Cementkalkmörtel bei den aufgeführten Kalkzusätzen sowohl an der Luft als auch unter Wasser gut erhärten. Wie stark die hydraulischen Eigenschaften dieser Mörtel sind, läßt sich daraus entnehmen, daß die Probekörper selbst aus 1 Thl. Portlandcement mit 10 Thln. Sand und $1^1/_2$ Thl. Kalkhydrat (resp. 3 Gewthln. Kalkbrei) nach der üblichen Frist von 24 Stunden ins Wasser gelegt werden konnten.

Aber nicht nur Mörtel aus Normalsand, aus welchem die feinsten Sandtheilchen entfernt sind, wird durch Kalkzusatz verbessert, sondern auch solcher mit Rheinsand (durch ein Sieb von 3,6 mm Maschenweite abgesiebt) ergab ebenfalls die günstigsten Resultate, wie Tab. III., S. 311, zeigt. Auch wurden dieselben Mörtel, mauergerecht angemacht, in Würfelformen von 10 cm Seitenlänge gefüllt und nach vier Wochen Wassererhärtung ihre Druckfestigkeit ermittelt. Auch hier ergab sich bei Kalkzusatz eine gleiche Steigerung der Festigkeit.

Bei allen vorerwähnten Versuchen stellte sich die Druckfestigkeit eines Mörtels aus 1 Thl. Cement, 7 Thln. Sand und $^1/_2$ Thl. Kalkhydrat gleich der Festigkeit eines Mörtels aus 1 Thl. Cement und 5 Thln. Sand (ohne Kalk).

In noch höherem Maße als die Druckfestigkeit wird bei mageren Cementmörteln die Adhäsion gesteigert, wie folgende Versuchsresultate zeigen:

Tabelle IV.

Mischung in Gewichtstheilen			kg pro 144 qcm Kittfläche		Bemerkungen.
Cement	Sand	Kalkhydrat	1 Woche	3 Wochen	
1	3	—	64,0	90,5	Der Cement hatte $2^1/_2$ Stunden Bindezeit und 6,8 Proc. Rückstand auf dem 900-Maschensiebe. Die Normenprobe ergab 16,0 kg Zugfestigkeit.
1	5	—	18,8	28,3	
1	7	$^1/_2$	62,2	84,7	

Die Adhäsion des Mörtels mit 5 Thln. Sand beträgt hiernach circa 30 Proc. der Adhäsion des Mörtels mit 3 Thln. Sand, während im Allgemeinen die Festigkeit bei 5 Thln. Sand 60 Proc. der Festigkeit eines Mörtels mit 3 Thln. Sand ist, so daß also die Adhäsion des Cementmörtels bei steigendem Sandzusatz weit mehr abnimmt, als die Festigkeit. Dagegen wird die Adhäsion eines Mörtels aus 7 Thln. Sand durch Zusatz von $^1/_2$ Thl. Kalkhydrat so sehr gesteigert, daß dieselbe, wie wiederholte Versuche dies bestätigt haben, nahezu der Adhäsion eines reinen Cementmörtels mit 3 Thln. Sand gleich kommt. Bei

magerem, reinem Cementmörtel sind eben zu wenig Bindemittel vorhanden, als daß der Mörtel, trotz der stark verkittenden Eigenschaften des Portlandcements, große Adhäsion am Stein haben könnte. Durch Zusatz von Fettkalk wird jedoch nicht nur die Menge des Bindemittels erhöht, sondern auch die Entmischung von Cement und Sand, die bei hohem Sandzusatz eintritt, verhindert.

Aus den Resultaten dieser Versuche ergiebt sich daher, daß **Portlandcementmörtel mit hohem Sandzusatz durch Beigabe von Fettkalk nicht nur zur Verarbeitung geeignet gemacht werden, sondern daß damit auch gleichzeitig ihre Dichtigkeit, Druckfestigkeit und Adhäsion zum Stein wesentlich erhöht wird.** Diese Portlandcementkalkmörtel bilden sonach bei ihrem billigen Preise ein schätzbares Material für die Baupraxis und zwar in den Fällen, wo man von dem Mörtel nicht die hohe Festigkeit beansprucht, welche nur der fettere Portlandcementmörtel mit 2 oder 3 Thln. Sand erreicht. Die Anwendung des Portlandcementkalkmörtels empfiehlt sich daher z. B. für Gewölbe, da derselbe rasch erhärtet, höhere Festigkeit und wesentlich höhere Adhäsion besitzt, als gewöhnlicher Kalkmörtel. Ob man dieselben auch statt des hydraulischen Kalkes, Traßmörtels u. s. w. anwenden wird, ist von localen (Preis-) Verhältnissen abhängig, bezüglich der Festigkeit stehen sie diesen Mörteln weit voran.

Auch der Preis des Portlandcementkalkmörtels ist ein sehr mäßiger, wie folgende Berechnung eines Mörtels aus 1 Gewthl. Cement, $^1/_2$ Gewthl. Kalkhydrat und 7 Gewthln. Sand, welcher mit bestem Erfolge, selbst bei Frostwetter, zu verschiedenen Bauten angewendet wurde, zeigt:

70 kg	Portlandcement = $^1/_2$ hl, pro 100 kg Mk. 5,— . . .	= Mk.	3,50
35 „	Kalkhydrat = 70 kg Kalkbrei = $^1/_2$ hl, pro Hectoliter Mk. 1,—	= „	0,50
490 „	Sand = $3^1/_2$ hl, pro Hectoliter Mk. 0,28	= „	0,98
595 kg	Mörtel kosten sonach	Mk.	4,98

oder 100 kg Mk. 0,84 oder 1 cbm, da 1000 kg trockene Mischung 576 Liter Mörtel ergeben, Mk. 14,58.

Daß magerer Portlandcementmörtel durch einen geeigneten Zusatz von Fettkalk wasserdicht gemacht werden kann, haben wir bereits S. 298 angegeben.

Zur Frage der Verbesserung des Cementmörtels durch Luftkalkzuschläge sind auch von **G. Prüssing**[1]), Director der Vorwohler Portlandcementfabrik, Versuche ausgeführt worden, aus welchen derselbe den Schluß gezogen hat, **daß Kalkmörtel durch Portlandcementzuschlag sehr verbessert werden können, daß dieselben aber selbst sehr mageren Cementsandmörteln wesentlich nachstehen und daß Cementsandmörtel durch Zuschläge von Luftkalk keine Verbesserung, sondern eine Verschlechterung erleiden,** und daß ferner die Kalkzuschläge aus solchem Mauerwerk, welches dem Wasser ausgesetzt ist, allmälig wieder ausgewaschen werden, wodurch eine Schwächung des Mörtels stattfindet.

[1]) Deutsche Bauzeitung 1881, Nr. 56.

Hierzu bemerkt R. Dyckerhoff[1]): seine Versuche beschränkten sich nicht, wie die von Prüssing angestellten, auf eine einseitige Untersuchung in der Richtung, ob Mörtel aus einem speciellen Cement sich bei verschiedener Sandmischung bei Zusatz eines stets gleichen Quantums Kalk verbessern lasse, sondern die Versuche wurden mit verschiedenen der besten Cemente angestellt, um zu ermitteln: ob und bei welchem Verhältniß von Kalkzusatz allzu magere Cementmörtel zur Verwendung für die Praxis geeignet gemacht werden können. Bei allen von ihm untersuchten Cementen, gleichviel ob grob oder äußerst fein gemahlen, hat sich ergeben, daß bei dem geeigneten Zusatz von Kalk die mageren Mörtel verbessert werden, in geringerem Grade zwar bei der Zugfestigkeit, auf welche Prüssing allein prüfte, in sehr hohem Grade dagegen bei der Druckfestigkeit und der Adhäsion am Stein, beides wichtigere Eigenschaften eines Mörtels als die erstere. Würde Prüssing seine Versuche in gleicher Richtung ausgedehnt haben, so würde er zu ähnlichen Resultaten gelangt sein.

Auch gegenüber der Annahme, daß Kalkzuschläge aus Mauerwerk, welches dem Wasser ausgesetzt ist, ausgewaschen werde, kann angeführt werden, daß seine Versuche das Gegentheil bewiesen und außerdem gezeigt haben, daß magere Cementmörtel mit Kalkzusatz dem Angriff des Wassers früher widerstehen, als Mörtel dieser Art ohne Kalkzusatz.

Dyckerhoff hält sich hiernach zu dem Ausspruch berechtigt, daß die früher herrschende und neuerdings von Prüssing vertretene Ansicht: „Cementsandmörtel erleiden durch Zuschläge von Luftkalk eine Verschlechterung“ nicht begründet ist. Nur an sich schon fette Cementmörtel oder solche, die einen zu hohen Kalkzusatz erhalten haben, werden durch den Kalkzusatz in ihrer Festigkeit verringert. Magere Cementkalkmörtel dagegen werden bei richtig gewähltem Kalkzusatz in Bezug auf Festigkeit, Adhäsion 2c. wesentlich verbessert.

Die Dyckerhoff'schen Angaben wurden auch von Wolff, Regierungsbaumeister in Frankfurt a. M. u. A. bestätigt[2]).

Ueber die Festigkeitserhöhung von Portlandcementmörtel von hohem Sandzusatz durch einen Zusatz von Kalk macht Dr. Erdmenger folgende Bemerkungen[3]): Der Grund für diese Erscheinung ist bis jetzt nicht richtig angegeben. Jede Beimengung eines indifferenten Materials zum Portlandcementmörtel schwächt an sich dessen Kraft. Andererseits wird die Festigkeit beeinträchtigt, wenn ein Uebermaß von Wasser beim Anmachen verwendet wird, bezw. wenn Wasser während der Erhärtung leicht in größerer Menge in den Mörtel eindringen kann. Es ist dies vor Allem der Fall bei hohen Sandzusätzen, weil diese ein lockeres Gefüge erzeugen, das dem Wasser das Eindringen erleichtert, welches seinerseits das Portlandcementpulver zersetzt und partiell hinwegführt, ehe dasselbe seine Wirkung üben konnte. Wird nun in solchen Fällen dem Cement-

---

1) Thonind.-Ztg. 1881, S. 276.

2) Deutsche Bauzeitung 1879, Nr. 57. Thonind.-Ztg. 1879, S. 274; 1883, S. 145.

3) Deutsche Bauzeitung 1880, Nr. 85. Thonind.-Ztg. 1880, S. 397.

pulver ein Zusatz gegeben, der die Poren mehr schließt, dem Eindringen des Wassers also hinderlicher wird, so kann dadurch oft die Festigkeit gesteigert werden, und es kann diese Steigerung erheblich die Schwächung überwiegen, die das Cementpulver durch die nur passiv verbessernde Beimengung an sich erleidet.

Soll eine ersichtliche Wirkung durch solche Zusätze hervortreten und namentlich auch die Hydraulicität keine Einbuße erleiden, so müssen diese Zusatzsubstanzen vor Allem dreierlei Eigenschaften aufweisen: Sie müssen in Wasser schwer bezw. gar nicht löslich sein; sie müssen ferner keine schädliche, den Cement angreifende Wirkung ausüben, und sie müssen drittens von so feiner Zertheilung sein, daß sie jene Function des Porenschließens gut erfüllen, d. h. sie müssen, wie man sagt, gut decken.

Durch letztere Eigenschaft, welche einen ungewöhnlichen hohen Feinheitsgrad voraussetzt, wird die Hydraulicität sogar meist wesentlich erhöht. Eine solche Substanz ist nun z. B. das Kalkhydrat, welches besonders noch dadurch wirksam wird, daß es alsbald in schwer lösliches Calciumcarbonat sich umsetzt, dessen im Verhältniß zum Gewicht sehr voluminöse Häutchen schützende Hüllen gegen das Andringen des Wassers bilden. Aehnlich wirkt aber z. B. auch ganz feine Schlemmkreide. Noch erheblich energischer wirken gewisse stark deckende Farbsubstanzen (s. Färben der Cemente).

Selbstverständlich kann die schützende Wirksamkeit feinst zertheilten Pulvers auch durch immer weiter getriebene Feinung des Portlandcementpulvers selbst erreicht werden. In diesem Falle wirkt das Pulver nicht bloß passiv, wie die oben angedeuteten Materialien, sondern betheiligt sich activ außerdem noch an der Erhärtung selbst, wodurch natürlich ein noch höherer Grad der Leistungsfähigkeit erzielt wird. Indeß abgesehen von der Schwierigkeit so atomistisch feiner Zerstäubung von Portlandcementpulver ist auch darauf hinzuweisen, daß derartiges feinstes Cementpulver nicht lange vor der Verwendung lagern dürfte, indem es dadurch wieder stärkere Einbuße an Energie erleidet.

Nach Dr. Delbrück[1]) sind die von Erdmenger gegebenen theoretischen Erklärungen über den Einfluß des Zusatzes indifferenter Pulver auf die Festigkeit von Portlandcementmörteln nicht begründet; wären dieselben richtig, dann dürften die gefundenen Wirkungen in der Luft nicht stattfinden, aber auch an der Luft findet eine Erhöhung der Festigkeit statt, wenn auch in geringerem Grade, als im Wasser.

In einer darauf folgenden Entgegnung bleibt Dr. Erdmenger[2]) auf seinen Erklärungsgründen stehen.

Auf die von Erdmenger gemachte und patentirte Erfindung, daß auch ein Zusatz von Magnesia zu magerem Portlandcementmörtel dessen Festigkeit beträchtlich erhöht, haben wir bereits S. 179 aufmerksam gemacht.

R. Dyckerhoff hat auch Portlandcementkalkmörtel und Traßmörtel eingehend mit einander verglichen[3]). Bei allen hierbei ausgeführten

---

[1]) Thonind.-Ztg. 1881, S. 174. — [2]) Ebend. 1881, S. 228. — [3]) Deutsche Bauzeitung 1881, Nr. 45 u. 47. Wagner's Jahresber. d. chem. Techn. 1881, S. 549.

Prüfungen wurden die Mörtel immer mit so viel Wasser angemacht, daß dieselben beim Einschlagen in die Zug- und Druckformen ebenso elastisch wurden, wie bei der Normenprüfung; auch wurden die eingeschlagenen Probekörper bis zur Prüfung ebenfalls nach den Vorschriften der Normen behandelt, also alle Cement- und Cementkalkmörtelproben nach 24 Stunden unter Wasser gebracht. Bei den Traßmörtelproben dagegen konnte dies erst nach 48 Stunden geschehen, weil bei früherem Einlegen die Probekörper rissig wurden.

In nachstehender Tabelle sind die mit Normalsand erzielten Festigkeitsresultate, erhalten mit Traßmörtel und einem Cementkalkmörtel, zusammengestellt.

Traßsorte	Mörtelmischung in Volumtheilen	Wasserzusatz auf 1000 g trockenen Mörtel g	Zugfestigkeit in kg pro Quadratcentimeter 1 W.	Zugfestigkeit in kg pro Quadratcentimeter 4 W.	Druckfestigkeit in kg pro Quadratcentim. an Platten ermittelt 1 W.	Druckfestigkeit an Platten ermittelt 4 W.	Druckfestigkeit an Würfeln ermittelt 1 W.	Druckfestigkeit an Würfeln ermittelt 4 W.	Bemerkungen.
	Traßmörtel.								Den Mischungen sind folgende Gewichte zu Grunde gelegt:
A.	4 Traß, 2 Kalkteig, 3 Sand	200	4,6	13,4	97,9	181,5	—	70,4	1 hl Cement = 140 kg
B.	4 Traß, 2 Kalkteig, 3 Sand	200	4,7	13,1	110,6	184,8	—	80,1	1 „ Traß = 100 „
B.	1 Traß, 1 hydraul. Kalk (zu Pulver gelöscht), 1 Sand .	190	1,6	10,9	62,7	141,9	—	73,0	1 „ Kalkteig = 140 „ 1 „ hydr. Kalk = 60 „
C.	1 Traß, 1 zu Pulver gelöschter hydraul. Kalk, 1 Sand . .	190	1,6	7,4	77,0	124,3	—	54,1	1 „ Sand = 140 „
	Cementkalkmörtel.								
	1 Cement, 1 Kalkteig, 6 Sand . .	100	5,6	8,8	129,8	205,2	—	77,0	

NB. Der Wassergehalt des Kalkteiges ist zu 50 Proc. angenommen.

Der Traß A. ist von Plaidt; Traß B. und C. sind Herfeldt'scher Traß von Plaidt bezogen. Der zum Cementkalkmörtel benutzte Portlandcement ergab bei der Normenprobe 16,7 kg Zugfestigkeit pro Quadratcentimeter bei einer Bindezeit von zwei Stunden.

Vergleicht man die für die Druckfestigkeit an den Platten ermittelten Zahlen mit der Zugfestigkeit, so ergiebt sich wiederum, daß das Verhältniß $\frac{\text{Druck}}{\text{Zug}}$ bei Traß ein anderes und zwar ein geringeres ist, als bei Cementkalkmörtel.

Vergleicht man ferner die Druckfestigkeitszahlen unter einander, so ersieht man, daß der Mörtel aus 1 Thl. Cement, 1 Thl. Kalkteig und 6 Thln. Sand nach vier Wochen mindestens die gleiche Druckfestigkeit aufweist, wie die Traßmörtel. Dagegen ist der Cementkalkmörtel dem Traßmörtel nach einer Woche und noch weit mehr nach kürzerer Frist an Festigkeit überlegen. Von vier Wochen an schreitet bei beiden Mörtelarten die Entwickelung der Festigkeit in gleichem Grade vor.

Um dem Einwande zu begegnen, daß sich günstigere Resultate für den Traßmörtel ergeben würden, wenn die Probekörper, anstatt erst 24 Stunden nach der Anfertigung sogleich unter Wasser verbracht werden, hat Dyckerhoff eine Reihe von Versuchen vorgenommen, bei denen das Verbringen unter Wasser sofort nach dem Einschlagen des Mörtels in die Formen stattgefunden hat. Die hierbei erzielten Resultate sind in nachstehender Tabelle zusammengefaßt.

Mörtelart	Druckfestigkeit von runden Platten in kg pro Quadratcentimeter		Aenderung der Festigkeit in Proc.
	mit der Form gleich ins Wasser gesetzt	48 Stunden an der Luft	
	nach 4 Wochen		
Cementmörtel 1:2	477,4	456,4	Zunahme 4,5 Proc.
„ 1:6	54,5	101,8	Abnahme 46 „
Cementkalkmörtel 1:1:6 . . .	171,1	210,1	„ 18,6 „
Traßmörtel 1:1:1	116,1	149,6	„ 22 „

Die Mörtel (mit Ausnahme des Portlandcementmörtels 1 : 2) zeigten bei diesen Versuchen eine Abnahme der Druckfestigkeit, gegenüber derjenigen, welche erhalten wird, wenn man die Probekörper vor dem Verbringen unter Wasser erst 24 oder 48 Stunden lang der Luft aussetzt. Es ergab sich aber auch, daß bei fetten Cementmörteln die Festigkeit weit weniger abnimmt als bei Traßmörteln, daß bei mageren Cementmörteln (z. B. mit 6 Thln. Sand) die Festigkeit in höherem Maße abnimmt, als bei Traßmörtel, daß aber derselbe Mörtel 1:6, bei einem entsprechenden Zusatz von Fettkalk, keinesfalls in höherem Maße an Festigkeit abnimmt, als Traßmörtel.

Was die Stärke der hydraulischen Eigenschaften bei Cementkalk- und Traßmörtel betrifft, mit welchem die rasche Erhärtungsfähigkeit im engen Zusammenhange steht, so geben folgende Versuche eine Illustration hierzu: Füllt man beide Mörtelarten von derselben Consistenz, wie sie bei den Festigkeitsproben zur Anwendung kam, mittelst Trichter in Würfelformen unter Wasser ein, so ergiebt Cementkalkmörtel der oben angegebenen Zusammensetzung folgende Druckfestigkeit:

Nach 24 Stunden	1 Woche	4 Wochen
0,4 kg	4,8 kg	8,6 kg für den Quadratcentimeter.

Der Traßmörtel 1 : 1 : 1 dagegen:

0,0 kg	2,5 kg	8,7 kg für den Quadratcentimeter.

Hält man aber das Wasser fern, so weist der Cementkalkmörtel nach 24 Stunden bereits 11,7 kg Festigkeit auf, während der Traßmörtel auch in diesem Falle noch keine Festigkeit erlangt. Aus diesem Verhalten und der eben erwähnten Beobachtung, daß die Probekörper aus Traß, nach 24 Stunden unter Wasser gebracht, noch rissig werden, während die Proben aus Cementkalkmörtel bei noch weit früherem Verlegen unter Wasser vollständig gut bleiben, ist der Schluß zu ziehen, daß auch hinsichtlich der hydraulischen Eigenschaft die Cementkalkmörtel den Vorzug vor Traßmörtel verdienen. Auch der Preis bildet kein Hinderniß der Verwendung von Cementkalkmörtel statt Traßmörtel, indem sich der Preis eines Mörtels aus gleichen Volumtheilen Traß, Kalk und Sand je nach der Entfernung des Verbrauchsortes von den Traßgruben pro Cubikmeter auf 14,75 bis 22,50 Mk., dagegen für Cementkalkmörtel pro Cubikmeter auf 15,17 Mk. stellt.

Sehr wichtig ist die Anwendung der Cemente zu Beton (englisch Concrete), Grobmörtel, Gußmörtel oder Steinmörtel, womit man ein Gemenge von Wassermörtel und zerschlagenen Steinen (Kies) bezeichnet, welches die Eigenschaft hat, sowohl unter Wasser als auch an der Luft zu einem förmlichen Conglomerat zu erhärten.

Schon die Römer benutzten Wassermörtel mit Zusatz von Bruchstücken harten Gesteins zu ihren Bauten und nannten die Masse signinum (Vitruv). Im Anfange des 18. Jahrhunderts kam die Anwendung des Grobmörtels in Frankreich wieder auf und wurde z. B. für die großartigen Hafenbauten in Cherbourg und zu Fundirungen von Brücken verwendet. Nachher war der Beton wieder in Vergessenheit gerathen, bis man zu Anfang des gegenwärtigen Jahrhunderts in England denselben wieder zu den Werft- und Quaibauten unter gleichzeitiger Benutzung der mittlerweile entdeckten englischen Cemente verwandte.

In neuester Zeit wird aber Beton vielfach verwendet zu Fundirungen, wie überhaupt zur Anlage von Bauwerken unter Wasser, zu Röhren und Canälen, zu Brücken und Durchlässen, zu Quai-, Hafen- und Seemauern, zu Cisternen und Bassins, zur Herstellung von Straßen und Trottoirs, zur Erbauung von Gebäuden, zu Gußmauern, Gußgewölben und Estrichen 2c., sowie zur Darstellung der verschiedenartigsten kleineren Baugegenstände zu mannigfaltigen Zwecken.

Zur Herstellung des Mörtels benutzt man hydraulischen Kalk, Romancement, Portlandcement, fetten Kalk mit Puzzolanen (Traß, Santorinerde 2c.), fetten Kalk mit Portlandcement (sogenannten Cementkalkmörtel oder verlängerten Cementmörtel).

Die Güte des Betons hängt nicht allein von der Beschaffenheit der dazu verwendeten Materialien ab, sondern auch das Mischungsverhältniß ist dabei von großer Wichtigkeit. Der Einfluß, den die höhere oder geringere Qualität des Cementes und des Sandes auf die größere oder geringere Festigkeit eines Mörtels äußert, ist bereits S. 301 besprochen worden; dasselbe gilt selbstverständlich auch für den Beton; hier sei nur noch bemerkt, daß, da der Portlandcement am meisten Sandzusatz verträgt, und unter allen Cementen in Bezug auf Bindekraft und Festigkeit der vorzüglichste ist, dieser jetzt am meisten zu Betonarbeiten verwendet wird, und daß man reinem Quarzsand den Vorzug hierbei giebt.

Bei der Auswahl der Steine (Geschläge) sehe man auf Härte, Zähigkeit, Rauhheit des Bruches und Scharfkantigkeit der Bruchstücke. Geschlagene Steine sind abgerundetem Flußkies und porösen Steinen von muscheligem oder sandigem Bruche vorzuziehen; ein Hauptererforderniß ist aber ihre Reinheit; schmutzige sind unbrauchbar, da sie sich nur höchst unvollkommen mit dem Mörtel verbinden. Vor dem Gebrauche müssen die Steine ins Wasser getaucht werden, einmal um sie zu reinigen und sodann, damit sie dem Mörtel nicht so schnell seine Feuchtigkeit entziehen und dadurch seine vollständige Erhärtung beeinträchtigen. Endlich sind auch die Steine in Stücken nicht unter Wallnuß- und nicht über Kindesfaustgröße zu verwenden.

Ueber vortheilhafte ökonomische Herstellung von Concretmassen, insbesondere aus Portlandcement, hat Rud. Dyckerhoff eine große Reihe von Versuchen ausgeführt [1]), deren Resultate gewissermaßen als Grundsätze bei Portlandcement-Betonbauten gelten können. Die Untersuchungen erstreckten sich einmal auf die Stärke der hydraulischen Eigenschaften der verschiedenen Mörtel und zweitens auf die Festigkeit derselben, wenn sie nur an feuchter Luft erhärteten und wenn sie sofort nach dem Anmachen unter Wasser gebracht wurden.

Sämmtliche Festigkeitsermittelungen beziehen sich auf die Druckfestigkeit, da diese allein für den Vergleich von Mörteln aus verschiedenen Materialien maßgebend ist. Zur Festigkeitsbestimmung bei den zwei genannten Arten der Erhärtung wurden Würfel von 10 cm Seitenlänge benutzt und der Praxis entsprechend gewöhnlicher Rheinsand angewandt, der durch ein Sieb von 4 mm Maschenweite abgesiebt war. Der Wasserzusatz wurde so bemessen, daß ein Mörtel von dem Feuchtigkeitsgrade erzielt wurde, wie man ihn zu Betonirungen anwendet; der Mörtel war also nässer als bei der Normenprobe. Bei den Proben, welche an der Luft erhärteten, wurde der Mörtel eingestampft; beim Verbringen des Mörtels direct unter Wasser wurde derselbe mittelst eines Trichters eingefüllt, die Form gewölbt voll gemacht und die die Form überragende Mörtelmasse nach dem Abbinden abgestrichen.

Für Portlandcement wurden die Versuche mit rasch bindendem Cement (unter 30 Minuten) und mit langsam bindendem Cement (von mehreren Stunden) durchgeführt. Um zu ermitteln, nach welcher Zeit die verschiedenen Cemente dem Angriffe des Wassers widerstehen, wurden die zur Ermittelung der Bindezeit angefertigten Kuchen nach verschiedenen Zeitintervallen ins Wasser gelegt.

---

[1]) Deutsche Bauzeitung 1880, Nr. 23 u. 25. Notizbl. d. deutschen Vereins für Fabr. v. Ziegeln 2c. 1880, S. 120. Wagner's Jahresb. d. chem. Technol. 1880, S. 522.

In nachstehender Tabelle sind die Resultate, welche mit zwei Cementen erhalten wurden, zusammengestellt:

Tabelle I.

Cementsorte	Bindezeit Min.	Proc. Rückstand auf dem 900-Maschen-siebe	Normenprobe in kg pro qcm	Widersteht dem Wasser nach	1 Thl. Cement, 3 Thle. Sand: Druckfestigkeit von Würfeln in kg pro qcm — an der Luft erhärtet			direct unter Wasser betonirt		
					24 Std.	1 W.	4 W.	24 Std.	1 W.	4 W.
A.	20	10,5	12,6	20 Min.	11,0	38,2	79,5	0,75	12,8	30,1
B.	600	5,0	17,8	12 Stdn.	8,4	60,7	114,4	0,23	17,8	32,1

Aus diesen Zahlen ergiebt sich, um wie viel die Festigkeit geringer ausfällt, wenn mit einem Mörtel direct unter Wasser betonirt wird, gegenüber der Festigkeit, welche erhalten wird, wenn der Mörtel an der Luft verarbeitet wird. Ferner sieht man aus der Tabelle, daß der rasch bindende Cement bereits 20 Minuten nach dem Anmachen seinen Zusammenhang im Wasser behält, während der langsam bindende hierzu 12 Stunden gebraucht. Damit hängt zusammen, daß beim Verbringen des Mörtels direct unter Wasser der rasch bindende Cement nach 24 Stunden eine wesentlich höhere Festigkeit ergiebt, als der langsam bindende. Nach sieben Tagen hat letzterer allerdings die Oberhand, es gleichen sich jedoch diese Differenzen nach vier Wochen fast vollständig aus. Beim Erhärten an der Luft ergiebt der rasch bindende Cement nach 24 Stunden ebenfalls eine höhere Festigkeit als der langsam bindende Cement, dagegen wird ersterer nach einer und vier Wochen von letzterem übertroffen. Andererseits zeigen die Zahlen auch, daß bei dem rasch bindenden Cement die Festigkeit von einer auf vier Wochen in stärkerer Proportion zunimmt, als bei dem langsam bindenden. Wenn nun ein Cement in der Zeit zwischen 20 Minuten und 10 Stunden abbindet, so nähern sich seine Widerstandsfähigkeit gegen Wasser und seine sonstigen Eigenschaften entweder mehr denjenigen des rasch oder des langsam bindenden Cementes, je nachdem die Bindezeit mehr dem einen oder dem anderen Extreme näher liegt.

Aus diesen Resultaten ergeben sich für die Praxis folgende sehr werthvolle Winke. Ueberall da, wo es angeht, vermeide man es, direct ins Wasser zu betoniren, da hierbei die Festigkeit eines jeden Mörtels wesentlich beeinträchtigt wird; das Wasser ist vor dem Abbinden des Mörtels oder Betons fern zu halten. Wo man aber eine Arbeit unter Wasser oder bei Wasserandrang ausführen muß, wird man sich eines rasch bindenden Cementes oder wenigstens eines Cementes von mittlerer — etwa eine Stunde Bindezeit — mit mehr Vortheil bedienen, als eines langsam bindenden. Da der rasch und mittelrasch bindende Cement innerhalb der ersten 24 Stunden dem langsam bindenden an Festigkeit weit voraus ist, so werden diese Cemente auch in vielen anderen Fällen der Verwendung vortheilhafter sein als der langsam bindende Cement, welcher mehrere Stunden Bindezeit erfordert.

Wo hingegen frühes Widerstehen gegen Wasser oder relativ hohe Festigkeit in den ersten 24 Stunden nicht erforderlich sind, wird man wegen der höheren Festigkeit in den ersten Wochen den langsam bindenden Cement vorziehen.

Aehnliche Versuche hat Dyckerhoff auch mit mageren Cementmörteln (also bei hohem Sandzusatz) mit und ohne Zusatz von Fettkalk und zum Theil auch mit Mörteln aus Traß und hydraulischem Kalk ausgeführt. Zur Ermittelung der Widerstandsfähigkeit gegen Wasser wurden bei diesen Versuchen Probekörper von den betreffenden Mörteln in verschiedenen Zeitintervallen ins Wasser gelegt. Der Sand und die Anfertigung der Würfel waren dieselben wie bei den fetten Cementmörteln. Tabelle II. giebt die Resultate, welche bei diesen Versuchen mit einem Mörtel von 1 : 6 mit und ohne Kalkzusatz, ferner mit einem Traßmörtel und mit hydraulischem Kalk erhalten wurden.

Tabelle II.

Mischungsverhältniß	Widersteht dem Wasser nach	Druckfestigkeit in kg pro qcm: an der Luft erhärtet, 24 Stdn.	1 Woche	4 Wochen	direct unter Wasser betonirt, 24 Stdn.	1 Woche	4 Wochen	Bemerkungen.
1 Cement, 6 Sand . .	12 Stdn.	6,0	16,5	32,7	—	5,5	9,4	Der Cement hatte bei der Normenprobe: 15,4 kg bei 1 Stde. Bindezeit.
1 Cement, 6 Sand + 1 Kalkteig . .	2 Stdn.	6,6	31,2	51,5	0,40	4,8	13,9	
1 Traß, 1 hydraulischer Kalk + 2 Sand .	2 Tagen	—	8,3	22,9	—	0,32	6,2	
Hydraulischer Kalk . .	mehreren Tagen	—	—	—	—	—	—	

Aus den Zahlen dieser Tabelle folgt, daß durch einen geeigneten Zusatz von Fettkalk die Festigkeit des mageren Cementmörtels bei beiden Erhärtungsarten wesentlich erhöht wird.

Aus dieser Tabelle sind auch noch zwei weitere werthvolle Eigenschaften des Cementkalkmörtels zu erkennen:

1) Die starken hydraulischen Eigenschaften. Der reine Cementmörtel mit 6 Thln. Sand widerstand selbst bei einem Cement von nur einer Stunde Bindezeit erst nach 12 Stunden dem Wasser, mit Kalkzusatz schon nach zwei Stunden, die Traßmörtel erst nach zwei Tagen, die hydraulischen Kalke erst nach 4 bis 7 Tagen.

2) Die rasche Erhärtungsfähigkeit sowohl beim Erhärten an der Luft als auch beim Betoniren direct unter Wasser. Mit hydraulischem Kalk wurden entsprechende Ermittelungen der Festigkeit nicht ausgeführt, da die Festigkeit der Kalkmörtel noch weit geringer ausfällt als die des Traßmörtels.

Einen Vergleich zwischen der Festigkeit von Cementkalkmörtel und den Mörteln aus Traß und hydraulischem Kalk geben die 28-Tageszahlen der folgenden beiden Tabellen.

Tabelle III.

1 Cement 6 Sand 1/2 Kalkteig	1 Cement 7 Sand 1 Kalkteig	1 Cement 8 Sand 1 1/2 Kalkteig	1 Cement 10 Sand 2 Kalkteig	1 Cement 12 Sand 3 Kalkteig	Bemerkungen.
Druckfestigkeit von Platten nach 28 Tagen in kg pro qcm					Bindekraft des Cements nach der Normenprobe: 15,8 kg bei 4 Stunden Bindezeit.
175	140	130	110	85	

Tabelle IV.

Mischungsverhältniß			Druckfestigkeit von Platten in kg pro qcm nach 28 Tagen		
Hydr. Kalk	Traß	Sand	Hydraulischer Kalk A	Hydraulischer Kalk B	Hydraulischer Kalk C
1	—	1	36	33	—
1	—	2	27	21	52
1	1	2	112	112	107

Bei diesen, wie bei allen anderen mitgetheilten Prüfungen entsprechen die Mischungsverhältnisse Maßtheilen. Bei den Proben im Kleinen wurde jedoch der Genauigkeit wegen nicht abgemessen, sondern es wurden den Hectolitergewichten entsprechende Gewichtsmengen abgewogen. Die Festigkeitszahlen sind der sicheren Ermittelung wegen, an kreisrunden Platten von 40 qcm Fläche und 22,5 mm Dicke nach dem Einschlageverfahren der Normen bestimmt worden.

Vergleicht man nun die Festigkeit der Cementkalkmörtel mit derjenigen der Mörtel aus Traß oder Wasserkalk und zieht man ferner die stärkeren hydraulischen Eigenschaften und die rasche Erhärtungsfähigkeit der Cementkalkmörtel, wie sie sich in der relativ hohen Festigkeit nach 7 Tagen (s. Tabelle II) ausspricht, in Betracht, so ergiebt sich der Schluß, daß die billigen Cementkalkmörtel vor Mörtel aus Traß oder hydraulischem Kalk den Vorzug verdienen. Dyckerhoff erwähnt auch einiger Fälle, in welchen Cementkalkmörtel anstatt anderer hydraulischer Mörtel angewandt wurde und sich bewährt hat: z. B. bei den Bauten der Fortification Mainz: Mörtel aus 1 Cement, 3 Kalkteig, 8 Sand; für das Fundament des Universitätsgebäudes in Straßburg Beton aus 1 Cement, 1 Kalkteig, 5 Sand und 9 Kies hergestellt.

Was die Betonbereitung selbst betrifft, so ergaben die von Dyckerhoff hierüber angestellten Versuche folgende Resultate.

Da der Beton nichts weiter ist, als ein Conglomerat von Kies oder Steinstücken, in welchem der Cementmörtel den Kitt bildet, so liegt es auf der Hand, daß die Festigkeit des Betons durch die Stärke des angewandten Mörtels bedingt wird, vorausgesetzt natürlich, daß die Steine nicht etwa eine geringere Festigkeit besitzen als der Mörtel; sowie ferner dadurch, daß alle Hohlräume zwischen den Kies- bezw. Steinstücken so mit Mörtel angefüllt sind, daß die Kiesstücke unter einander sich eben nicht mehr berühren. Mehr Mörtel zu nehmen, wird meistens Verschwendung sein; zu wenig Mörtel muß den Beton verschlechtern.

Um nun in jedem Falle einen guten, aber möglichst ökonomisch hergestellten Beton zu erzeugen, fragt es sich in erster Linie: Welche Stärke soll der Mörtel haben, ferner, wie viel Hohlräume sind bei dem gegebenen Kies- oder Steinmaterial auszufüllen und wie hoch darf man folglich bei dem gewählten Mörtel den Kieszusatz steigern, ohne die Festigkeit zu verschlechtern?

Zunächst ermittelt man demnach die Hohlräume des Zuschlagsmaterials (Kies oder Steine) durch Eingießen von Wasser in ein mit dem Material angefülltes Maßgefäß. Das richtige Verhältniß zwischen Mörtel und Kieszusatz ergiebt sich dann durch folgende Betrachtung: Man berechnet das Volumen des Mörtels dadurch, daß man die angewandten absoluten Gewichte der einzelnen Mörtelbestandtheile durch ihre specifischen Gewichte dividirt und alsdann die Quotienten addirt; hierdurch erhält man für den Mörtel das denkbar kleinste Volumen, welches er einnehmen kann. Wendet man nun für jeden Beton immer so viel Mörtel an, daß dieses berechnete Mörtelvolumen die Hohlräume des Kieses noch um circa 15 Proc. übersteigt, so wird der Mörtel stets hinreichen, die Hohlräume der Steine ꝛc. nicht nur auszufüllen, sondern auch die einzelnen Stücke zu umhüllen, denn praktisch kann ja das Mörtelvolumen dadurch, daß im Mörtel selbst geringe Hohlräume verbleiben, nur noch größer ausfallen, als die Berechnung ergiebt. — Man kann natürlich auch durch den Versuch ermitteln, wie groß das Volumen einer jeden Mörtelmischung nach dem Einstampfen ist, und dieses der Berechnung zu Grunde legen.

Wenn man nun die angegebene Berechnung für einige Mörtelmischungen durchführt, so ergiebt sich, daß folgende Mischungsverhältnisse vollständige satt ausgefüllte Betonmassen liefern müssen.

Tabelle V.

Mischungsverhältniß in Hektolitern.

Cement	Sand	Kies
1	2	5
1	3	6½
1	4	8½
1	6	12

Der bei diesen Berechnungen und den gleich zu besprechenden Festigkeitsversuchen benutzte Kies war Rheinkies (zwischen 5 mm und 30 mm Korngröße). 100 hl dieses Kieses hatten 35 Liter Hohlräume und wogen 164 kg. Der Sand war durch ein Sieb von 4 mm Maschenweite abgesiebter Rheinsand und wog in feuchtem Zustande pro 100 hl 140 kg. Für Cement wurde das Hektoliter zu 140 kg angenommen.

Dyckerhoff hat auch, um sich von der Richtigkeit der obigen Ausführungen zu überzeugen, verschiedene Mörtel von der Consistenz, wie man sie zu Beton verarbeitet, einerseits für sich und andererseits mit verschiedenen Kieszusätzen in Würfelformen von 10 cm Seite eingestampft und die Festigkeit ermittelt. Der Kies wurde dem Mörtel stets in frisch genetztem Zustande zugesetzt und der Beton eingestampft, bis sich Wasser zeigte. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Tabelle VI.

Mischungsverhältniß in Volumtheilen				Druckfestigkeit in kg pro qcm	Bemerkungen.
Cement	Kalkteig	Sand	Kies		
1	—	2	—	151,8	Bindekraft des Cementes
1	—	2	3	196,2	nach der Normenprobe:
1	—	2	5	170,5	16,3 kg bei 1 Stunde
1	—	—	5	69,9	Bindezeit.
1	—	3	—	98,8	Die Würfel erhärteten
1	—	3	5	111,6	1 Tag an der Luft und
1	—	3	6½	108,2	27 Tage unter Wasser.
1	—	4	—	75,2	
1	—	4	5	90,9	
1	—	4	8½	86,0	
1	1	6	—	53,5	
1	1	6	12	52,1	

Aus diesen mit verschiedenen Betonmischungen angestellten Versuchen ergeben sich folgende Schlußfolgerungen:

1) Die Festigkeit eines Cementes wird wesentlich beeinträchtigt, wenn man, wie dies hier und da geschieht, reinen Cement mit starkem Kieszusatz verarbeitet, anstatt demselben den entsprechenden Sandzusatz beizufügen.

2) Ein Beton, welcher Cementmörtel und Kies im ökonomisch richtigsten Verhältnisse enthält, hat die gleiche Festigkeit, wie der Cementmörtel für sich, wenn beide eingestampft werden.

3) Eine Verminderung des Kieszusatzes unter das in Ta-elle V. angegebene Quantum ist unökonomisch, da die Festigkeit adurch wenig gesteigert wird, während die Kosten des Betons sich beträchtlich öher stellen. Schlagend zeigt sich dies bei dem Mörtel mit der Mischung 1 : 4, elcher mit $8^1/_2$ Thln. Kies nahezu die gleiche Festigkeit ergiebt wie mit Thln. Kies.

4) Da man bei Kies mit 35 Proc. Hohlräumen dem Cement mindestens oppelt soviel Kies als Sand zusetzen kann, so läßt sich für die Praxis, wenn man ies verwendet, der annähernd gleiche Hohlräume enthält, wie es meist der Fall ein wird, die Regel aufstellen, daß man auf 1 Thl. Cement doppelt soviel Kies als Sand zuzusetzen hat, wenn man mit einem gegebenen Mörtel vortheilhaft betoniren will. Die Festigkeit des Betons wird dann dieselbe sein, wie die des angewandten Mörtels allein, vorausgesetzt, daß beide eingestampft worden waren.

Auf Grund der angegebenen Regeln wurden Betonblöcke von 1 m Länge und 0,4 m Höhe und Breite mit Zuschlagmaterialien, wie sie in der Praxis zur Verwendung kommen, angefertigt. Bei einer Anzahl von Blöcken wurden geschlagene Steine (in Größe von Chausseeschotter) verwandt. Die Hohlräume der letzteren betrugen circa 50 Proc. und es berechnet sich dem entsprechend der Zusatz an geschlagenen Steinen geringer als bei Kies, wie dies auch in der nachfolgenden Tabelle VII. angegeben ist. Nach siebenmonatlicher Erhärtung im Freien wurden aus den Blöcken Würfel von 20 cm Seitenlänge gesägt und diese in nassem Zustande auf Druck geprüft. Das Ergebniß derselben ist in folgender Tabelle zusammengestellt:

Tabelle VII.

Mischungsverhältniß in Hektolitern			Ausbeute hl	Zu 1 cbm eingestampften Betons waren erforderlich Kilogr. Cement	Druckfestigkeit kg pro qcm	Bemerkungen.
Cement	Sand	Kies				
1	3	6	6,65	210	140,0	Der Sand war Rheinsand, durch ein Sieb von 5 mm Maschenweite abgesiebt. Der Kies war Rheinkies von 5 bis 45 mm Korngröße.
1	4	8	8,85	158	121,2	
1	5	10	11,25	125	94,1	
1 u. + 1 Kalkteig	6	12	13,45	104 u. + 75 Liter Kalkteig	96,8	
	Kiessand:	Geschlagene Steine:				
1	5	8 Basalt	9,80	142,5	147,9	Der Kiessand bestand aus gleichen Theilen Sand und Kies bis zu 18 mm Korngröße.
1	6	10 Kalksteine	11,45	122,0	121,0	
1	7	11 Sandsteine	12,55	112,0	83,0	
1 u. + 1 Kalkteig	8	13 Sandsteine	14,80	94,0 u. + 66 Liter Kalkteig	91,2	

Diese Festigkeitszahlen haben insofern Werth für die Praxis, als sie der Festigkeit entsprechen, welche man im Großen mit eingestampftem Beton erhält, vorausgesetzt natürlich, daß man gute Materialien verwendet.

Von Dyckerhoff wird noch darauf hingewiesen, daß für die richtige und vortheilhafte Bereitung von Beton außerdem noch manche andere Verhältnisse zu berücksichtigen sind, je nach dem Zweck, welchen der Beton erfüllen soll. So wird man z. B. für wasserdichten Beton auch einen wasserdichten — also fetten — Mörtel anwenden müssen. Ferner wird man beim Betoniren unter Wasser, um die gleiche Festigkeit zu erzielen, wie an der Luft, nicht nur einen weit stärkeren Mörtel, sondern auch ein größeres Quantum desselben nehmen müssen, während man beim Fernhalten des Wassers während des Abbindens die gleiche Mischung wird verwenden können, wie bei Betonirung an der Luft.

Da für den Fall des Betonirens direct unter Wasser, wozu stärkerer Mörtel und weniger Kies genommen werden muß, sich das richtige Mischungsverhältniß nicht berechnen läßt, so hat Dyckerhoff[1]) dasselbe durch Versuche zu ermitteln gesucht. Die wesentlichsten Resultate der zu diesem Zwecke vorgenommenen Versuche sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Das Anmachen des Betons geschah auf dieselbe Weise wie beim Einstampfen, und wurde die Betonmasse mittelst Trichter in Würfelformen, die sich unter Wasser befanden, eingefüllt.

Mischungsverhältniß in Volumtheilen				Druckfestigkeit pro Quadratcentimeter nach 28 Tagen	Bemerkungen.
Cement	Hydraul. Kalk	Sand	Kies		
1	—	2	—	49,7	Der Cement ergab bei der Normalprobe: 16 kg Festigkeit bei einer Stunde Bindezeit.
1	—	2	4	24,0	
1	—	2	3	41,0	
1	—	2	2	51,3	
1	—	3	—	34,1	
1	—	3	5	23,3	
1	—	3	4	27,5	
1	—	3	3	35,2	
1	1	6	—	11,2	
1	1	6	7	7,8	
1	1	6	6	9,8	
1	1	6	5	11,7	

[1]) Thonind.-Ztg. 1882, S. 99.

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, daß beim Betoniren unter Wasser nicht mehr als gleiche Theile Sand und Kies genommen werden dürfen, wenn die Festigkeit des Betons derjenigen des Mörtels gleichkommen soll. Bei stärkerem Kieszusatz wird die Festigkeit geringer.

Hierzu ist auch zu bemerken, daß, wie die Festigkeit eines Mörtels (siehe S. 322) beim directen Verbringen unter Wasser wesentlich geringer ausfällt, als beim Einstampfen desselben, Versuche mit Beton das gleiche Resultat ergaben; so hatte ein Beton von 1 Cement, 3 Sand und 3 Kies, direct unter Wasser gebracht, nach 28 Tagen eine Druckfestigkeit von 35 kg, während eingestampfter Beton aus 1 Cement, 3 Sand und 3 Kies nach gleicher Erhärtungsdauer über 100 kg aufweist.

Diese auffallende Abnahme der Festigkeit beim Betoniren unter Wasser findet dadurch ihre Erklärung, daß das Mörtel- und Zuschlagmaterial beim Einfüllen sich nur lose auf einander lagern können. Indeß läßt sich annehmen, daß in der Praxis beim Betoniren unter Wasser in Folge der größeren Massen, die durch ihr eigenes Gewicht sich dichter lagern, die Festigkeit eine höhere sein wird, als bei Versuchen im Kleinen.

Ueber die Zunahme der Festigkeit von Mörtel und Beton, sowohl des eingestampften als des direct unter Wasser gebrachten, hat Dyckerhoff ebenfalls Versuche gemacht und gefunden, daß die Festigkeit bei beiden Betonirungsarten annähernd in gleichem Maße zunimmt. Die Zunahme hängt von der Höhe des Sandzusatzes ab und wird auch noch durch die Eigenschaft des Cementes bedingt. Im Allgemeinen kann man annehmen, daß dieselbe nach einem Jahre durchschnittlich das Doppelte der 4-Wochenfestigkeit beträgt. Da beim Betoniren unter Wasser die Festigkeit so gering ausfällt, so ist es für die Praxis zu empfehlen, das Wasser, wenn möglich, fern zu halten, bis die Betonmasse eingestampft ist und der Mörtel abzubinden beginnt.

Dyckerhoff weist auch darauf hin, daß seine fortgesetzten Versuche über die Verbesserung magerer Cementmörtel durch Zusatz von Kalk zweifellos ergeben haben, daß auch bei Beton mit viel Sand und Kies durch einen geeigneten Zusatz von Kalk dieselben Verbesserungen (Steigerungen der Druckfestigkeit, der Widerstandsfähigkeit gegen Wasser) bewirkt werden, wie bei mageren Cementmörteln. Es sei jedoch für die Betonbereitung die Anwendung von zu Pulver gelöschtem hydraulischem Kalk dem Fettkalk vorzuziehen, weil ersterer in dem nur erdfeuchten Mörtel sich gleichmäßiger vertheilen läßt als Kalkteig. So wurde zur Herstellung des Fundamentes der Mainbrücke für den Centralbahnhof in Frankfurt a. M. ein Beton aus 1 Thl. Cement, 1 Thl. hydraulischem Kalk, 6 Thln. Sand und 10 Thln. Steinschlag nach dem Auspumpen des Wassers zwischen Spundwänden eingestampft [1]).

Das Durcheinanderarbeiten des Mörtels und der Steine, d. i. die Mischung des Betons, geschieht in den meisten Fällen mittelst Handarbeit durch Umschaufeln auf Holzböden, seltener durch Maschinen. Die Procedur des Mischens der einzelnen Materialien ist von wesentlichem Belang, da die Beton-

---

1) Thonind.-Ztg. 1882, S. 100.

masse nicht nur vollkommen homogen, sondern auch jede einzelne Mischung in ihrer Zusammensetzung vollständig gleichmäßig sein muß.

Bei der Zubereitung des Betons mittelst Handarbeit ist meistens folgendes Verfahren angewendet: Auf dem Holzboden wird ein abgemessenes Sandquantum in einer 10 cm dicken Schicht gleichmäßig ausgebreitet, auf diese der Cement vertheilt und die Masse dreimal mittelst Schaufeln trocken durchgearbeitet; alsdann wird diese Mischung abermals gleichmäßig ausgebreitet, in deren Mitte eine entsprechend große Mulde hergestellt, welche zur Aufnahme des ebenfalls abgemessenen Wasserquantums dient. Cement, Sand und Wasser werden nun durch weiteres zwei- bis dreimaliges gleichmäßiges Durchschaufeln vorsichtig und langsam vermengt. Hierbei ist von besonderem Werthe, das Wasser nicht über das Gemisch von Cement und Sand zu gießen, sondern umgekehrt dasselbe langsam mit dem Wasser in Berührung zu bringen, um die Abwaschung der das einzelne Sandkorn umgebenden Cementtheilchen möglichst zu vermeiden; auch ist die zum Anmachen des Mörtels verwandte Menge Wasser thunlichst zu beschränken.

Der so gewonnene Mörtel, welcher ungefähr die Consistenz feuchter Gartenerde besitzt und sich in der Hand ballen muß, wird hierauf zu einem länglichen Haufen gebildet, nicht immer aber doch häufig mit dem Schlageisen zweimal durchgeschlagen, und schließlich mit dem leicht angenäßten Kies gleichmäßig noch dreimal durchgeschaufelt. Damit ist der Beton fertig.

Das Volumen einer Mischung soll, um von den Arbeitern gut bewältigt werden zu können, in der Regel nicht mehr als $^1/_2$ cbm betragen.

Bei größeren Bauobjecten müssen daher aus den Arbeitern einzelne Colonnen gebildet werden und zwar um so mehr, je größer der auszuführende Bau werden soll, da je rascher und ununterbrochener der Betonbau hergestellt wird, desto besser wird derselbe werden[1]).

Man verwendet aber auch zur Mischung des Betons einfache Maschinen; eine solche besteht z. B. aus einem horizontal aufgehängten, drehbaren vierseitigen Kasten mit einer verschließbaren Oeffnung zum Einfüllen und Entleeren des Materials; die Drehung wird durch Handarbeit bewerkstelligt und sind zu diesem Zwecke an den Enden des Kastens vortretende Arme angebracht.

Auf eine Betonmischmaschine mit Wasserzuführung durch die hohle Achse, auf welcher die Mischtrommel schräg befestigt ist, erhielt Jos. Schumacher in Köln ein Patent (D. R.-P. Nr. 28585 vom 24. November 1883). Beschreibungen und Abbildungen von Maschinen zur Bereitung von Beton finden sich in nachstehenden Werken: Joh. v. Mihálik, Praktische Anleitung zum Betonbau ꝛc., Berlin 1860, und Edmund Heusinger von Waldegg, Die Kalk- und Cementfabrikation ꝛc., Leipzig 1875.

Der Beton wird als Stampf- oder Gußbeton verarbeitet. Erstere Methode des Verarbeitens (Stampf-) findet, sofern sie überhaupt anzuwenden ist, immer mehr Verbreitung, indem hierbei die Betonmasse viel dichter und fester

---

[1]) Endres, Ueber die Verwendung des Cementbetons zu Wasserbauten u. s. w. Thonind.-Ztg. 1881, S. 363.

wird. Für den Bau, welcher in Stampfbeton ausgeführt wird, wie z. B. Fundamente und Widerlager für Maschinen, Wasserbauten für industrielle Etablissements, Anlagen von Hochreservoirs für Wasserleitungen, Tiefbauten, wie Städtecanalisationen 2c., ist eine Form, ähnlich einer Gußform, herzustellen, deren Hohlräume alsdann mit Beton ausgefüllt werden. Die Form selbst wird gewöhnlich aus 5 cm starken Dielen, die gekrümmten Flächen aus eben solchen Lattenstücken hergestellt und sind dieselben je nach der Größe und Höhe des Baues mit entsprechend starken Streben, Bolzen und Zangen so zu versteifen, daß eine Verschiebung oder Biegung der Wände nicht eintreten kann; die Innenflächen der Form, an welche sich der Beton anlegt, sind, soweit die Betonflächen später sichtbar bleiben, sauber zu hobeln, oder wenn auf besonders glatte Flächen Werth gelegt wird, mit Zinkblech zu verkleiden.

Die in die Form eingebrachte Betonmasse wird in einer gleichmäßigen Schicht von ca. 20 cm ausgebreitet und gestampft. Auf das feste Stampfen des Betons ist großer Werth zu legen, da hiervon ganz wesentlich die Festigkeit desselben abhängt. Es werden hierzu eiserne Stampfer von 8 kg Gewicht und 20 cm unterem Durchmesser verwendet. Das Stampfen selbst muß so lange fortgesetzt werden, bis die fast trocken eingebrachte Masse plastisch wird und etwas Wasser an die Oberfläche tritt; vor Aufbringung einer zweiten Schicht sind die allenfalls losen Sand- und Kiestheile sorgfältig abzukehren; ferner sind die einzelnen Schichten terrassenförmig anzulegen, um größere senkrechte Anschlüsse neuen Betons an bereits erhärteten Beton zu vermeiden. Um einen guten Anschluß an die während der Nachtzeit schon etwas erhärteten Massen zu bekommen, sind die betreffenden Flächen kurz vor dem Aufbringen neuer Betonmassen von Staub und Schmutz abzuwaschen, zu reinigen, aufzurauhen und mit reinem Cementmörtel zu bewerfen, welcher dann einen festen Kitt zwischen den älteren und neueren Betonmassen bildet.

Nachdem die Form entfernt ist, was in 5 oder 6 Tagen nach Vollendung der Betonirung erfolgen kann, wird sofort mit dem Glätten der noch feuchten Außenflächen des Baues begonnen und besteht diese Arbeit lediglich darin, daß diese Flächen abgebürstet, mit dünnem fettem Portlandcementmörtel von 1 : 1 eingewaschen und schließlich mit kleinen, eisernen Hobeln abgeglättet werden; ein eigentlicher Verputz darf nicht aufgetragen werden, ebenso sind scharfe Kanten zu vermeiden.

Bei Anwendung von Gußbeton wird der mit Kies gemengte Cementmörtel in die Baugrube gegossen, worauf nachträglich in die noch weiche Masse große und kleine Bruchsteine nach Bedürfniß eingeworfen werden. Es ist einleuchtend, daß auf diese Weise keine gleichmäßige und homogene Betonmasse erzeugt werden kann, denn abgesehen davon, daß in dem ziemlich dünnflüssigen Beton sich die schweren Bestandtheile nach abwärts setzen, enthält die Masse eine Menge überschüssiges Wasser, welches beim Bindeproceß nicht absorbirt, sondern nachträglich entweder als sogenannte Cementmilch ausgeschieden wird oder aber im Inneren des Betons zurückbleibt, dort Hohlräume bildet und die Betonmasse porös und für die Frosteinwirkung empfindlich macht. Jedenfalls verdient die andere Methode der Verarbeitung von Beton, die sogenannte trockene mit gestampftem

Beton, den Vorzug, vorausgesetzt, daß diese Methode auch ausgeführt werden kann, was bei Betonarbeiten unter Wasser nicht möglich ist[1]).

Für die Betonschüttungen unter Wasser ist von der größten Wichtigkeit, daß der Beton als compacte Masse an Ort und Stelle abgelagert wird; derselbe darf daher nicht durch das Wasser frei hinabfallen, weil in diesem Falle nicht nur eine Entmischung des Betons entsteht, sondern es sinken die feineren Cementtheile langsamer im Wasser zu Boden als die übrigen Bestandtheile des Betons, und zwar um so langsamer, je feiner der Cement gemahlen ist. Alsdann lagern unten grobe Steine, darüber der grobe Sand, dann der feine Sand, dann der grobe Cement und schließlich der feinere Cement als Schlamm. Diese ausgewaschenen Cementtheilchen von lockerer schlammiger Beschaffenheit verhindern dann eine feste Verbindung der einzelnen Betonlagen[2]).

Man versenkt daher den Beton in Kästen, Säcken und Körben, in neuester Zeit mit Röhren; erstere werden erst an der betreffenden Stelle entleert. Auch dadurch läßt sich ein solches Auswaschen bei der Betonirung unter Wasser nicht gänzlich vermeiden, daher muß man für die Betonmischung unter Wasser immer etwas mehr Mörtel anwenden als für gewöhnlich (s. S. 328). Auch muß bei vorhandener Strömung des Wassers zum Schutz gegen Abspülung die Betonmasse bis zur vollständigen Erhärtung durch Spund- oder Bohlenwände geschützt werden. Auch sind zum Betoniren unter Wasser oder bei Wasserandrang rasch- oder mittelbindende Cemente den langsamer bindenden vorzuziehen.

Zu Bauten im Meere (bei Seehäfen, wie z. B. bei Dover und Alderney, Hafendamm zu Algier, Cette, Cherbourg ꝛc.) verwendet man auch große Betonblöcke von 10 bis 20 cbm Inhalt. Die Herstellung dieser Blöcke geschieht in Formkästen, deren Wände mittelst acht Schraubenbolzen mit einander verbunden werden; jede Wand wird durch einen leichten Rahmen aus Kreuzholz gebildet, der auf der inneren Seite mit schwachen Brettern verschalt ist. Sobald der Kasten aufgestellt ist, legt man zwei Hölzer oder auch aus dünnen Brettern gebildete Holzrinnen auf den Boden des Kastens; diese dienen zur Herstellung zweier Querrinnen in der unteren Fläche der Blöcke, durch welche später starke Ketten gezogen werden, an welchen man den Block bequem heben kann. Die eingebrachte Betonmasse wird mittelst Stampfen im Gewicht von circa 30 kg bearbeitet; nach 2 bis 3 Tagen sind die Blöcke soweit erhärtet, daß der Formkasten abgelöst und wieder verwendet werden kann. Die Blöcke müssen indeß längere Zeit, wenigstens sechs Wochen unter öfterem Begießen mit Wasser, ruhig liegen, ehe sie eine solche Festigkeit erlangen, daß sie sicher gehoben und transportirt werden können. Ein in 8- bis 14tägigen Pausen ausgeführtes, mehrmaliges Ueberstreichen mit einer verdünnten Wasserglaslösung ist sehr zu empfehlen, weil dieses zur Erzeugung einer dichten und festen Oberfläche in hohem Grade beiträgt[3]).

---

1) Thonind.-Ztg. 1881, S. 357.
2) Ebend. 1881, S. 193.
3) Michaëlis, Die hydraulischen Mörtel ꝛc., S. 312.

Aber nicht nur zu Wasserbauten, Fundamentirungen 2c. sondern auch zur Erbauung von Wohn- und Wirthschaftsgebäuden 2c. ist der Beton in neuerer Zeit mit dem besten Erfolge zur Anwendung gekommen. Die Betonmauern sind hervorgegangen aus den Pisémauern. Der Name Pisébau oder Stampfbau wird gewöhnlich gebraucht für die Aufführung von Mauern aus Erde, welche zwischen Kastenformen aufgestampft werden. In Deutschland bezeichnet man zuweilen auch die aus Lehm oder Letten aufgeführten Mauern als Pisémauern, obschon dieselben nicht zwischen Kastenformen eingestampft, sondern auf dem Sockelmauerwerk aus mit Stroh gemischtem Lehmbrei schichtenweise aufgeführt, mit den Füßen und Handrammen zusammengetreten und gedichtet und nach dem Abtrocknen mit Spaten und Beilen fluchtrecht behauen werden.

Von diesen Bauten hinsichtlich der Zusammensetzung verschieden ist der Kalksand-Pisébau, bei welchem die Mauern durch Einstampfen einer Mörtelmischung, bestehend aus Kalk und Sand, zwischen Kastenformen hergestellt werden[1]). Als Erfinder dieser Baumethode wird der Baumeister Rydin genannt, welcher 1828 zu Boras in Schweden diese Bauart zuerst anwendete. Derselbe benutzte aber nicht allein Kalksandmörtel, sondern, um möglichst viel Kalkmörtel zu ersparen, auch Steinbrocken und Ziegelstücke, welche in den vorher eingebrachten Mörtel hineingepackt wurden. Da der gestampfte Pisé sich nur für untergeordnete Bauten eignet, wo starke Mauern angemessen sind und da außerdem dieser Baumethode noch andere gewichtige Nachtheile anhaften (in Folge dessen sie keine große Verbreitung gefunden hat), so kam, um diesen Mängeln abzuhelfen, Dr. Bernhardi sen. auf den Gedanken, mit derselben Masse Ziegel herzustellen und diese dann zu allem möglichen Mauerwerk zu verwenden, gleich den gebrannten Steinen. Die so dargestellten Kalksandziegel werden bei den künstlichen Steinen eingehender besprochen werden.

Nach Michaëlis[2]) war der Baumeister Lebrun zu Alby (Departement du Tarn[3]) der Erste, welcher im Jahre 1830 auf seinem Gute gänzlich aus Beton ein Wohnhaus, aus einem Geschosse mit drei gewölbten Zimmern, einem ersten Stockwerke mit drei Gemächern und einem gleichfalls gewölbten Boden bestehend, erbaute. Der Beton bestand aus:

1 Thl. durch Eintauchen gelöschten hydraulischen Kalk von Alby;
1 „ reinen Sand;
2 Thln. Geröll von 8 bis 10 cm Größe.

Der Mörtel wurde sehr andauernd und innig gemischt und dann fest in die Kästen gedrückt, mittelst welcher der Bau in regelmäßigen Aufsätzen von 0,3 m Höhe ausgeführt wurde. Die Arkaden und Gewölbe wurden mittelst Lehrbogen, die Gesimse mit Modeln aufgeführt.

---

[1]) B. Liebold, Der Cement in seiner Verwendung im Hochbau 2c., Halle a. S., 1875, S. 49. Friedr. Engel, Der Kalksand-Pisébau, Wriezen 1851. Krause, Anleitung zur Kalk-Sand-Baukunst, Glogau 1851.

[2]) Michaëlis, Die hydraulischen Mörtel 2c., Leipzig 1869, S. 286.

[3]) Lebrun, Praktische Abhandlung über die Kunst mit Beton zu bauen; aus dem Französischen übersetzt von A. L. Crelle, Berlin, bei Reimer, 1844.

Seitdem ist die Anwendung des Betons zur Herstellung von Wohnhäusern auch bereits in anderen Ländern erfolgreich durchgeführt worden. Hierzu wurde in England ausschließlich und in Deutschland zum größten Theile Portlandcement, in Oesterreich dagegen vorzugsweise hydraulischer Kalk benutzt.

Nach Becker[1]) wurden in den fünfziger Jahren dieses Jahrhunderts für Rechnung des großbritannischen Kriegsministeriums in dem Truppenlager zu Shornscliffe mehrere Wohnungen für Officiere und Soldaten von Medinacementbeton in kürzester Zeit, wenngleich im Winter, dennoch gut und trocken errichtet. Zwei Gebäude wurden zuerst versuchsweise aufgebaut. Ein jedes derselben war 12,2 m lang, 6,1 m tief, 2,43 m hoch, ohne irgend eine Zwischenwand im Innern. Die Mauern waren 0,148 m stark, excl. des Putzes von Portlandcement, welcher eine Stärke von 0,012 m erhielt. Das Dach bestand aus gewelltem, verzinktem Eisenblech in Bogenform mit 1,065 m Pfeilhöhe. In zwei Tagen nach Errichtung der rohen Mauern waren dieselben trocken und am dritten Tage wurden sie verputzt.

Von gleichem Materiale wurden auch in der Nähe der königlichen Marineresidenz Osbornhouse auf der Insel Wight mehrere zwei Stock hohe Gebäude errichtet, deren Wände im Erdgeschoß 0,30 und im oberen Geschoß 0,228 m Stärke erhielten.

Während des Sommers 1853 ließ auch die französische Regierung im Feldlager zu Boulogne, in dem kurzen Zeitraume von 7 Tagen, eine Reihe von Pferdeställen aus Beton errichten, deren Wände nur 0,09 m stark waren.

In Deutschland sind erst später Versuche mit dem Cementbeton gemacht worden; eine der ersten umfassenderen Verwendungen fand diese Baumethode bei den Bahnwärterhäusern der Würtembergischen Eisenbahnen, wozu Leube's Romancement benutzt wurde; auch in Salzburg und in Reichenhall sind mehrere größere Wohngebäude und Villen mit Beton erbaut worden. In noch größerem Maßstabe wurde der Betonbau von der 1872 gegründeten Berliner Cementbau-Actiengesellschaft zur Errichtung drei- und vierstöckiger Miethäuser (Colonie Victoriastadt bei Berlin) benutzt[2]).

Die Aufführung der Wände geschieht in ähnlicher Weise, wie es beim Pisé- und Kalksandbau üblich ist, in Formen aus Platten von Eisen, seltener von Holz, die durch Schraubenbolzen verbunden und verstellbar sind, in Absätzen von 0,60 m Höhe; hat die eingeschüttete und festgestampfte Betonmasse hinreichende Festigkeit erlangt, wozu etwa 24 Stunden erforderlich sind, so werden die eisernen Formplatten an vertical aufgestellten Ständern aufwärts geschoben und in ihrer Stellung durch Schrauben festgehalten, wodurch ein weiterer Raum von 0,60 m Höhe zur Aufnahme einer neuen Betonschicht gebildet wird. Für die am Gebäude vorkommenden Ecken werden besondere Winkelplatten angewendet, Thür- und Fensteröffnungen werden beim Guß durch hölzerne Rahmen ausgespart und für Herstellung von Rauchröhren benutzt man Eisenblechcylinder.

---

1) W. A. Becker, Praktische Anleitung zur Anwendung der Cemente 2c., Berlin 1868, S. 5.

2) Edmund v. Haanen, Der Maschinenbauer, 1872, S. 326.

Zuweilen wird auch das Verfahren beobachtet, den Sand vorerst mit dem Cement zu Mörtel zu vermengen und in den Formapparat zu schütten und hierauf erst das gröbere Material, Schotter ꝛc. mehr lagenweise in die Cementmasse einzudrücken; es wird darauf gehalten, daß diese Stücke (Packung) überall mit Mörtel umgeben sind.

Die Fundamente der Betonmauern werden ohne besondere Formen angefertigt, indem der Beton in die ausgeschachteten Gräben in wagerechten Lagen von 0,60 m Höhe eingebracht und mit der Handramme festgestampft wird. Sind die Fundamentgräben bis zur Erdbodenhöhe mit Beton ausgefüllt, dann erfolgt die Aufstellung der Formkästen.

Da die Betonmauern größere Festigkeit erlangen als Ziegelmauerwerk, so kann die Wandstärke bedeutend vermindert werden, als sie bei Ziegelbauten gewöhnlich ist. So hat man in Victoriastadt bei Berlin mehrstöckige Häuser errichtet, bei welchen das Fundament 0,38 m, die Umfassungswände 0,28 m, die Mittelmauern 0,20 m und die Scheidemauern 0,13 m stark hergestellt wurden.

Die Decken werden als Gewölbe auf Bretterschalung gegossen; bei größeren Decken muß die Einwölbung zwischen eisernen Trägern stattfinden. Die Stiegen werden entweder auf Schalung aus einem Stück gegossen, oder man gießt die einzelnen Stufen und versetzt dieselben. Das Dach wird, wie die Decken, als Gewölbe construirt, oder auch aus flachen Platten, die auf Bretterschalung gegossen werden; dasselbe erhält einen Verputz mit Cementmörtel und einen Theer- oder Asphaltanstrich.

Ein Hauptvorzug des Betonmauerwerks besteht vorzugsweise darin, daß ein aus Beton hergestellter Bau einen vollständig zusammenhängenden Körper ohne jede Fuge bildet.

Für mehrstöckige Gebäude hat man, da der Guß in größerer Höhe mit Schwierigkeiten verbunden ist, auch Betonquadern angewendet; mit derartigen künstlichen Quadern von 0,6 m Länge, 0,4 bis 0,5 m Breite und 0,30 bis 0,35 m Höhe sind schon größere Gebäude aufgeführt worden, z. B. in London das College of Surgeons ꝛc. (s. Künstliche Steine).

Eine billige Bauweise ist auch der Aschenstampfbau oder Cendrinbau, welcher von Dr. Küchenmeister und C. Berndt in Sachsen empfohlen wurde; letzterer hat diese Bauweise seit 1844 angewandt und mehrere Häuser und darunter ein ziemlich bedeutendes Fabrikgebäude aufgeführt. Als Baumaterial hierzu benutzt man Steinkohlenasche und Straßenschmand (Koth) und als Bindemittel hydraulischen oder gewöhnlichen Luftkalk; letzterer muß aber vollständig zu Staub gelöscht und ohne Klümpchen sein, weil sich diese später löschen und die Wand aus einander treiben würden.

Die Mischung der Materialien erfolgt zuerst im trockenen Zustande, dann wird dieselbe angefeuchtet und so lange durchgeschaufelt, bis sie eine Consistenz besitzt, daß sie sich mit der Hand zu festen Ballen drücken läßt. Zur Herstellung der Gewölbe benutzt man aus Cendrinmasse gestampfte Ziegel; diese erhält man mit Hülfe von Ziegelformen durch Einstampfen des Materials — 1 Thl. hydraulischen Kalk, 2 Thle. Asche und 1 Thl. Straßenschmand — in

die Formen. Noch haltbarer werden dieselben durch Einlegen in verdünntes Wasserglas [1]).

Röhren und Canäle aus Beton finden jetzt auch häufig Anwendung zu Canalanlagen in Städten und Fabriken, bei Eisenbahnbauten zu Bahnhofsentwässerungen und Durchlässen ꝛc. [2]).

Betoncanäle werden entweder in der Weise hergestellt, daß fertige Betonröhren oder Canalstücke durch Cementmörtel mit einander verbunden werden, oder daß das Profil des Canals aus zerlegbaren Lehrgerüsten an Ort und Stelle aufgestellt und um dasselbe direct in den Erdboden der Beton eingestampft wird. Das letztere Verfahren besitzt den Vorzug der Billigkeit und der Möglichkeit günstiger Erhärtungsbedingungen und größerer Homogenität, dagegen ist hierbei die Anbringung des Lehrgerüstes in fixer Stellung und namentlich die Erzielung genauer Gefällswinkel bei geringen Gefällen schwierig, außerdem ist bei sorgfältiger Herstellung nach der Entfernung des Lehrgerüstes ein Nachputzen von innen nicht gut zu umgehen.

Um diese Schwierigkeiten zu umgehen, hat der Cementwaarenfabrikant J. Chailly in Wien [3]) ein Lehrgerüst für Abzugscanäle aus Beton construirt, welches nach ihm den Vorzug besitzt, daß man damit die gewünschte Form des Canallängendurchschnittes, nicht bloß die des Canalquerschnittes und überhaupt der inneren Canalfläche so genau und glatt herstellen kann, daß es keines nachträglichen Verputzes mehr bedarf; ein weiterer Vortheil soll noch sein, daß der Canal durch Schablonenarbeit mit Ausschluß der Handarbeit hergestellt wird und dadurch seine innere Form eine beinahe mathematische Genauigkeit erlangt, wodurch auch bei dem kleinsten Gefälle noch ein möglichst rascher und vollständiger Ablauf der Flüssigkeiten stattfinden kann.

Auf eine Maschine zum Modelliren von Röhren aus Cement erhielt Eugen Malgat in Burtzweiler (Elsaß) ein Patent (D. R.-P. Nr. 12337 vom 20. Juni 1880). — Ein dem Jakob Grether in Freiburg patentirter transportabler eiserner Formkern zur Herstellung von Canalisationsröhren aus Cement, hauptsächlich für die Herstellung größerer Siele bestimmt, gestattet, innerhalb der Baugrube selbst das Siel über die vorher gemauerte Sohle zu modelliren und auch während des Baues den Canal begehen zu können, da keinerlei Steifen oder Verstrebungen den inneren Raum beengen (D. R.-P. Nr. 16617 vom 31. Mai 1881).

Die Herstellung von Cementröhren ist eingehend beschrieben worden von J. Karlinger [4]), Gebrüder Born in Erfurt [5]), Aug. Aigner [6]) und Neumüller in Mißdorf bei Wien [7]); wir verweisen auf die unten angegebene Literatur.

---

[1]) Küchenmeister, Der Aschenstampfbau und die Wohnungsnoth; C. Beeck und Gebhardt, Der Aschen- und Erdstampfbau 1873.

[2]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrik. v. Ziegeln ꝛc. 1874, S. 95.

[3]) Bayer. Industrie- u. Gewerbeblatt 1882, S. 210.

[4]) Dingl. pol. J. 132, 202.

[5]) Ebend. 134, S. 136.

[6]) Ebend. 215, 420.

[7]) Wagner's Jahresber. d. chem. Technologie 1878, S. 711.

Als Beispiele von größeren Betonausführungen erwähnen wir die neue Pariser Vanne- und die Münchener Wasserleitung; bei ersterer wurde für die Zuleitung des Quellwassers aus dem Thale der Vanne nach Paris ein Betoncanal von bis 2 m Durchmesser auf eine Länge von 173 km erstellt, wovon allein 17 km auf Viaducte und Brücken fallen. Beim Bau der Münchener Wasserleitung wurden bei einem 21 000 m langen Zuleitungscanale die Sohlen und Seitenwände aus Stampfbeton hergestellt; bei dem Hochreservoir, dem größten in Deutschland, welches bei 3 m Wasserstand einen Inhalt von 37 500 cbm hat und eine Fläche von 14 500 qm einnimmt, bestehen die Umfassungswände sowie die Sohle aus Beton ꝛc.[1]).

Von H. Kämmerer wurden Versuche angestellt über die Widerstandsfähigkeit der zu Canalbauten vorzugsweise in Anwendung kommenden Materialien gegen saure Flüssigkeiten und Ammoniak[2]). Veranlassung zur Ausführung der Versuche gaben die Verhandlungen über die Canalisation Nürnbergs in den städtischen Collegien und die nothwendige Berücksichtigung der mannigfaltigen größeren und kleineren Fabriken der Stadt mit ihren theils sauren, theils alkalischen Abwässern bei Aufstellung einer ortspolizeilichen Vorschrift bezüglich des Einlassens dieser Wässer in die städtischen Canäle.

Zu den Prüfungen wurden einprocentige Lösungen von Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure und Ammoniak benutzt, in der Voraussetzung, daß die Fabrikabwässer nur in sehr großer Verdünnung durch die Abwässer der Haushaltungen und das Meteorwasser in die städtischen Canäle gelangen; die Einwirkung fand bei gewöhnlicher Temperatur während 48 Stunden statt.

Als hauptsächlichste Resultate der Versuche im Hinblick auf den Zweck derselben und mit Rücksicht auf Verwendung von Cementröhren bezeichnet Kämmerer folgende: 1) Die wegen ihrer Härte, ihrer Widerstandsfähigkeit gegen den Einfluß des Frostes, ihrer leichten Verarbeitung ꝛc. als zu Canalbauten vorzüglich geeigneten Cementröhren erwiesen sich nicht widerstandsfähig gegen den Einfluß saurer Flüssigkeiten und des Ammoniaks. 2) Der Einfluß auch sehr verdünnter alkalischer und saurer Flüssigkeiten in die aus Cementröhren hergestellten Canäle kann nicht gestattet werden. 3) Den Vorzug mancher Backsteinsorten in gedachter Beziehung paralysiren die zur Verbindung der einzelnen Steine nothwendigen Cementfugen.

Entgegen den Angaben von H. Kämmerer, daß das Einlassen auch sehr verdünnter saurer und alkalischer Flüssigkeiten in die mittelst Cement hergestellten Canäle nicht zu gestatten sei, weist L. Erdmenger[3]) darauf hin, daß Canäle, deren Fugen mit reinem Cement verstrichen sind, saure Flüssigkeiten ohne Schaden ertragen, selbst wenn sie 1 Proc. Schwefelsäure enthalten. Salzsäure und Salpetersäure wirken dagegen in dieser Concentration bereits verderblich. Flüssigkeiten,

---

[1]) Bayer. Industrie- u. Gewerbeblatt 1883, S. 317; 1884, S. 60. Thonind.-Ztg. 1883, Nr. 34.

[2]) Notizbl. des deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln ꝛc. 1878, S. 205. Wagner's Jahresber. d. chem. Technologie 1878, S. 710.

[3]) Thonind.-Ztg. 1878, S. 379, 388 u. 397. Dingl. pol. J. 233, 226.

die nicht mehr als 0,25 Proc. freie Säure enthalten, sind für Cementmauerwerk unbedenklich.

Nach Eug. Dyckerhoff[1]) sind die Versuche von Kämmerer für die Baupraxis nicht unmittelbar maßgebend, indem diese Versuche nicht, wie es erforderlich gewesen wäre, unter Berücksichtigung der beim Canalbau obwaltenden speciellen Verhältnisse ausgeführt worden sind. Als maßgebend für ein bezügliches Urtheil können nur Erfahrungen, die beim Canalbau und im Canalbau selbst in einer Reihe von Jahren gemacht worden sind, gelten.

Eine Anzahl von Untersuchungen von Cementcanälen in verschiedenen Städten hätten ergeben, daß sich Röhren und Canäle im Betriebe vollkommen gut bewährten und durch die Canalwässer in ihren verschiedenen Zusammensetzungen, auch mit Beimengungen von geringgrädigen Säuren nicht angegriffen werden. Es dürfen natürlich aus chemischen Fabriken keine concentrirte Säuren in die Canäle eingeführt werden, welcher Forderung mit Leichtigkeit und Sicherheit vorgebeugt werden kann.

Selbstverständlich ist bei Betonausführungen ein großer Werth darauf zu legen, nur gute Materialien und auf die Behandlung große Sorgfalt zu verwenden.

Dyckerhoff weist noch darauf hin, daß in einer Zuckerfabrik zu Bredow bei Stettin Cement zum Abputz für Bassins für Knochenkohlenwäsche mit Salzsäure angewendet und sich gut bewährt hat. Diese Fabrik verwendet bei der Wäsche in diesen cementirten Bassins Säuremischungen von 5 bis 10 Proc. Säuregehalt, welche mindestens 6 Tage in denselben stehen; 18 solcher Bassins sind seit der zweiten Hälfte der sechziger Jahre und 18 seit 8 Jahren in Betrieb, ohne die mindeste Abnutzung gezeigt zu haben. — Die Fabrik für Schwefelsäure, Alaun und Superphosphat von Albert in Biebrich benutzt seit Jahren bei der Herstellung ihrer Producte Behälter mit Ziegelsteinen mit Cementmörtel hergestellt, welche auf der Innenseite Cementputz haben. Alle diese Behälter haben sich gut bewährt.

Bemerkenswerth ist auch, daß Engelhardt[2]) in Ibbenbüren darauf aufmerksam macht, daß gußeiserne Röhren gegen die Einwirkung saurer Wässer durch einen Cementüberzug sich schützen lassen.

Beton findet ferner Anwendung zur Herstellung von Gesimsen, Säulen, Obelisken ꝛc. durch Einstampfen in Formen, die dem Gegenstande entsprechend, zur Trockenlegung feuchter Keller durch Auftragen einer Betonschicht, zu Terrassen, Gewölben, Brücken, Bassins, Gasbehältern ꝛc.[3]).

In neuester Zeit wurden — besonders von der Firma J. Borsari & Co. in Zollikon bei Zürich — auch statt der hölzernen Lagerfässer für Wein Behälter aus Portlandcement hergestellt[4]). Wenn auch die Anwendung von Cementfässern manche Vorzüge darbietet, wie große Raumersparniß, größere Solidität

---

1) Thonind.-Ztg. 1883, S. 28 bis 30.

2) Dingl. pol. J. 214, 494.

3) W. A. Becker, Prakt. Anleitung zur Anwendung der Cemente. Berlin 1883.

4) Dingl. pol. J. 218, 84. Gewerbebl. f. d. Großh. Hessen 1876, S. 283. Vergl. auch H. W. Dahlen, Die Weinbereitung, S. 524.

ohne Reparaturkosten ꝛc., so ist doch nicht zu verkennen, daß der Wein, besonders bei neuen Behältern, durch die Bestandtheile des Cementes — in erster Linie durch die Neutralisation der Säuren des Weines mit Kalk — leicht geschmacklich verändert wird. Man hat diesem Uebelstande wohl dadurch abzuhelfen gesucht, daß man die Cementfässer vor der Benutzung öfters mit Wasser auslaugte oder die Innenwände derselben mit einer Lösung von Weinsteinsäure bestrich, um eine Kruste von unlöslichem weinsteinsaurem Kalk zu bilden. Dennoch scheinen die so behandelten Cementfässer den gestellten Anforderungen nicht entsprochen zu haben, denn von der oben genannten Firma Borsari & Co. werden jetzt Cementfässer mit Glasfütterung hergestellt, und zwar nach der Patentbeschreibung (D. R.-P. Nr. 27 740 vom 25. December 1883) auf folgende Weise: Das Gefäß für Wein, Bier ꝛc. wird zuerst in Cement auf einer Unterlage (als Betonfaßlager oder Sockel) aufgeführt und dann die Innenwände des Cementkörpers mit Glasplatten ausgefüttert. Hierbei ist es wesentlich, daß die dem Cementkörper zugekehrte Seite der Glasplatte eine rauhe Oberfläche besitzt, welche man erhält entweder auf chemischem Wege (Aetzung durch Fluorwasserstoffsäure ꝛc.) oder auf mechanischem Wege (Sandbläserei). Wenn man nun auf diese rauhe Glasfläche (oder Porzellanfläche) dünnen Cementmörtel spritzt, nach Art eines Besenwurfs, so haftet derselbe an Glas oder Porzellan und kann somit als Verbindungsglied zwischen den Glas- oder Porzellanplatten und dem Cementkörper dienen. Die mit Cement versehenen flachen oder gerundeten Glasplatten werden dann gleichmäßig an die Fläche des Cementkörpers gedrückt und die Verbindung zwischen Ausfütterung und Cementkörper ist hergestellt.

Rudolf Lesse und August Köppe in Bitterfeld ließen sich auch ein Verfahren zur Herstellung von massiven Särgen aus Cement (oder Gyps) durch Guß patentiren (D. R.-P. Nr. 9478 vom 28. Mai 1879), wobei ein im Sarge angebrachter Rohrstutzen bei der Beerdigung in eine auf dem Kirchhofe verlegte Thonrohrleitung eingeführt wird, durch welche die bei der Verwesung entwickelten Gase abgeführt werden.

Gewöhnlicher Beton ist für sich allein durchaus nicht wasserdicht und zwar wegen des mehr oder weniger porösen Zustandes in seinem Inneren. Handelt es sich daher um wasserdichte Bauwerke oder Gefäße, wie Wasserbehälter, Filterbassins ꝛc., so müssen die Wandungen derselben mit einem wasserdichten Ueberzuge versehen werden; hierzu verwendet man als Verputz entweder reinen Cementmörtel oder einen Mörtel von der Mischung 1 Thl. Cement und 1 Thl. feinen Sand.

Betonbauten, wie z. B. Gewölbe, kann man, ohne ihre Tragfähigkeit zu beeinträchtigen, einer Wärme von 130 bis 150^0 aussetzen, nur muß man sie vorher diejenige Festigkeit erreichen lassen, die sie im Gebrauch rechnungsmäßig erweisen müssen. Bei höherer Temperatur verliert der Mörtel seine Festigkeit (s. S. 308 [1]).

Auf der Pariser Ausstellung 1867 waren von Coignet in St. Denis bei Paris Objecte aus comprimirtem Beton ausgestellt, welche namentlich

[1]) Thonind.-Ztg. 1881, S. 192.

bei den Pariser Bauten vielfach verwendet wurden [1]). Bei der Herstellung desselben verfährt Coignet so, daß er den Kalk oder Cement fein pulverisirt, auf das innigste mit dem Sande oder Kies mengt und dann erst das Wasser zugiebt, aber in ganz geringer Quantität. Je weniger man aber Wasser zusetzt, um so besser muß man die festen Bestandtheile mengen, was nur mit Maschinen erreicht werden kann. Dieser Beton ist nur eine plastische, bisweilen noch sandige Masse, welche in der Art geformt wird, daß man ihn in 2 cm starken Lagen in die Form einträgt und lagenweise einstampft, bis die Form gefüllt ist, worauf er herausgenommen wird. Natürlich dürfen nur kleine, möglichst gleichförmige Steinstückchen in der Masse sein, weil sich die Masse sonst nicht stampfen läßt. Der Kalkgehalt ist dabei weit geringer als in dem gewöhnlichen Beton, wo er dem Volumen nach in der Regel bis zu $1/3$ des Sandes steigt; hier geht man auf $1/7$, ja auf $1/10$ herab.

Außerdem hat Coignet noch die Verbesserung eingeführt, daß der Beton beim Zermahlen einer höheren Temperatur ausgesetzt und noch warm in die Formen gestampft wird. Für Seebauten läßt sich der comprimirte Beton nicht verwenden, dagegen giebt er ein gutes Material zum Pisébau, eignet sich gut zu großen Monolithen und kann zu Trottoirs und Fußböden, zu Gewölben &c. mit Vortheil verwendet werden.

Die ausgezeichnete Eigenschaft der jetzt fabricirten Portlandcemente und zum Theil auch einiger Romancemente, in kürzerer oder längerer Zeit zu einer steinharten, den atmosphärischen Einflüssen widerstehenden Masse zu erhärten, hat denselben auch eine ausgedehnte Anwendung als vortreffliches Surrogat für natürliche Steine und gebrannten Thon verschafft. Es hat sich daher auch in neuerer Zeit ein ganz neuer Industriezweig, Kunststeinfabrikation, Kunststeingießerei, entwickelt und ausgebildet, welcher aus künstlichem Stein zahlreiche Gegenstände für verschiedene Zwecke liefert, wie Grabsteine, Säulen mit reichen Kapitälen, Vasen, Basreliefs, Statuen, Ornamente, Kaminaufsätze, Pferdekrippen, Futtertröge &c.

Während alle diese Gegenstände aus natürlichen Steinen sehr kostspielig sind und ihre Herstellung längere Zeit erfordert, können dieselben aus künstlicher Steinmasse, bei gleicher Dauer wie der Sandstein, weit billiger, leichter und schneller in allen Formen angefertigt werden.

Damit aber die so aus künstlichem Stein dargestellten Gegenstände Haltbarkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Witterungseinflüsse unter verschiedenen klimatischen Verhältnissen erlangen, sind bei ihrer Herstellung gewisse Bedingungen zu erfüllen und hierüber giebt E. Dyckerhoff [2]) nähere praktische Anhaltspunkte.

Vor Allem ist ein langsam bindender, richtig gebrannter und gut abgelagerter Portlandcement von richtiger chemischer Zusammensetzung zu verwenden.

[1]) Dingl. pol. J. 140, 101; 150, 113; 170, 210.

[2]) Notizbl. d. deutschen Ver. f. Fabr. v. Ziegeln &c. 1874, S. 95 u. 1875, S. 150.

Derselbe darf für Stücke, die der Luft ausgesetzt werden sollen, nicht in reinem Zustande, sondern nur mit Beimengung von reinem, möglichst scharfem Sande, mit Kies oder mit zerschlagenen festen Steinen verarbeitet werden; bei feineren Gegenständen ist ein sehr feiner Sand, bei Gegenständen, wie Röhren und Baumaterialien, die tragfähig sein sollen, ein gröberer Kiessand zu verwenden. Das Mischungsverhältniß von Cement und Sand ist nach der Art der Gegenstände verschieden zu wählen. Im Allgemeinen haben sich Mischungen von 1 Thl. Cement mit 3 auch 4 Thln. Kiessand sowohl in Bezug auf Haltbarkeit als auch große Festigkeit sehr gut bewährt.

Die Bereitung des Mörtels, bezw. des Betons, hat folgendermaßen zu geschehen. Die richtig abgemessenen Theile von Cement und Sand müssen zuerst in trockenem Zustande innig gemengt werden (der Sand darf dabei auch feucht sein); ist er vollständig erdfrei, so findet kein Zusammenballen der Masse statt. Hierauf wird unter beständigem Durcheinanderarbeiten der Mischung reines Wasser nach und nach zugesetzt, und zwar nur so viel, daß die Masse nicht in höherem Grade feucht wird, als etwa frisch gegrabene Erde, bei welchem Feuchtigkeitszustande der Masse sich mit den Händen nur schwer ein Ballen aus derselben fertigen läßt. Diese Mischung wird nun in die verschiedenartigsten Formen eingeschlagen oder gestampft und so lange bearbeitet, bis die Masse ganz dicht und beweglich wird und schließlich noch eine geringe Wassermenge an der Oberfläche zeigt.

Bei Anfertigung von Bauverzierungen und solchen Gegenständen, die eine feine glatte Oberfläche erhalten sollen, wendet man noch einen sogenannten Vorguß an, der aus einer Mischung von 1 Thl. Cement und 1 bis 2 Thln. feinem scharfem Sande besteht. Dieser Vorguß wird als flüssiger Brei in dünner Auftragung in die Formen eingegossen, worauf die trockenere Masse eingefüllt und fest eingedrückt oder geschlagen wird. Das überflüssige Wasser des dünnen Vorgusses wird alsdann von der mäßig angefeuchteten trockenen Masse aufgesaugt, und es erhält dadurch ersterer die gleich dichte Beschaffenheit, wie die trocken eingeschlagene Masse.

Dieses Verfahren ist nur bei Verwendung eines ganz langsam bindenden Portlandcementes ausführbar, und es müssen alle auf diese Art gefertigten Gegenstände 24 bis 48 Stunden in den Formen bleiben, ehe sie, ohne Schaden zu erleiden, herausgenommen werden können.

Nach Vollendung der Stücke müssen dieselben in den ersten sechs bis acht Wochen in einem vor Sonne und Wind geschützten Raume gelagert und während dieser Zeit täglich angenetzt werden. Der gefährlichste Feind von frischen Cementarbeiten ist ein trockener scharfer Wind, vor welchem dieselben daher möglichst lange zu schützen sind. Dagegen äußert Frost auf 8 bis 14 Tage alte, gute Portlandcementwaaren keinen nachtheiligen Einfluß mehr; es werden im Gegentheil die im Winter gefertigten Stücke viel rascher hart und durchweg auch fester, als die im Sommer gefertigten. Das erklärt sich dadurch, daß den im Winter gefertigten Waaren das zur Erhärtung nöthige Wasser durch die Luft nicht entzogen wird und in Folge davon der Erhärtungsproceß ungestörter vor sich geht. Im Sommer hergestellte Cementwaaren müssen, eben aus Rück-

sicht auf letzteren Umstand, hinreichende Zeit in geschlossenen Räumen unter beständigem Feuchthalten verbleiben, da dieselben nur so die zur gleichmäßigen Erhärtung von außen und innen nöthige Nahrung an Feuchtigkeit erhalten.

Die genaue Beobachtung des hier beschriebenen Verfahrens bietet nach allen bis jetzt gemachten Erfahrungen die einzige sichere Garantie, Cementwaaren aller Art herzustellen, welche den Unbilden der Witterung widerstehen, äußerst solide und von bedeutender Härte und Festigkeit sind.

Häufig wird aber noch zur **Anfertigung von Bauornamenten** u. dergl. ein möglichst **rasch bindender Cement** verwendet, der nach 3 bis 4 Stunden aus der Form genommen werden kann. Dieser an sich zu solchen Zwecken schon untaugliche Cement wird dann meist ohne Beimischung von Sand u. s. w. und ferner mit Zusatz einer Menge überschüssigen Wassers verarbeitet, flüssig in Formen gegossen und ähnlich wie Gyps behandelt; in vielen Fällen werden dann noch die fertigen Cementstücke schon nach wenigen Tagen im Freien versetzt. Hierdurch wird den Hauptbedingungen, welche allein die Sicherheit für die Solidität und Haltbarkeit von Cementwaaren verbürgen, direct entgegengearbeitet und darin liegt auch der Hauptgrund, weshalb den Cementwaaren oft ein Mißtrauen entgegengesetzt wird.

Viele Bildhauer und Stuccateure behaupten, daß man Ornamente u. s. w. nur mit rasch bindendem Cement herstellen könne und daß durch Beimischung von Sand die Stücke nicht sauber und scharf ausfallen. Diese Behauptungen sind nicht stichhaltig. Alle schnell bindenden Cemente geben nach dem Erhärten im Ganzen nur lockere, leichte, wenig widerstandsfähige Massen. Auch lassen sich aus Mischungen von Cement und so feinem gemahlenem Sande, wie solcher beim Passiren durch ein 900-Maschensieb erhalten wird, durch Stampfen Cementwaaren herstellen, an denen selbst ein geübter Cementkenner oft schwer unterscheiden kann, ob er reinen oder mit Sand vermischten Cement vor sich hat. Auf diese Weise kann man also das sauberste Ansehen mit gleichwohl möglichst magerer Mischung von 3 Thln. Sand verbinden und wird dadurch schon dem Entstehen von Haarrissen sehr entgegentreten. Bedingung ist, daß **nicht allzu viel Wasser genommen und nicht locker eingegossen, sondern eingestampft** wird (**Erdmenger**[1]).

Auch der weitere Einwand, daß hohe Sandzusätze längeres Stehen der Gegenstände vor dem Versandt nöthig machen, ist nach **Erdmenger**[2]) insofern nicht stichhaltig, als gestampfte Sachen schneller eine gewisse Festigkeit erlangen als gegossene. Nimmt man Feinsand, so kann man sehr hoch in den Zusätzen gehen, ohne die Stücke etwa ungewünscht rauh und porig zu machen. **Erdmenger** macht darauf aufmerksam, daß man sich in allen solchen Fällen zum Zwecke schneller Versendung des **Hochdruck-Dampf-Apparates** (Patent **Michaëlis**) s. S. 286 bedienen kann. Macht man z. B. die Stücke mit etwa 4 bis 5 Thln. Feinsand fertig (durch Pressen oder Einstampfen), läßt sie 24 Stunden erhärten und giebt sie dann zweimal 24 Stunden in den Apparat und erhält sie während

---

[1]) Thonind.-Ztg. 1881, S. 96.

[2]) Deutsche Bauzeitung 1881, S. 236.

dieser Zeit auf einem Drucke von ca. 20 Atmosphären, so sind sie unmittelbar nach dieser Procedur versandtfähig. Oft braucht man auch nur kürzere Zeit und bei geringerem Drucke zu kochen und erhält gleichwohl schon genügende Festigkeit. So wurden z. B. dicht geschlagene Probekörper aus mit 11 Thln. Feinsand versetztem Cement in dieser Weise behandelt und zeigten darauf 13,5 bis 16,5 kg absolute Festigkeit, also im Mittel 15 kg. Der Cement war zwar ein ganz vorzüglicher; gleichwohl war die Festigkeit auf gewöhnlichem Wege erst nach einem Monat 5,5 kg. Es dürfte daher nach dieser Richtung hin die Anwendung von Hochdruckdampf eine Zukunft haben. Die Anschaffung der Kosten des Apparates dürften bald dadurch aufgewogen werden, daß man mit sehr geringen Mengen des theuren Cementes arbeiten und gleichwohl die Sachen nach kürzester Frist so gefahrlos versenden kann, wie sonst nur nach einer Erhärtungsdauer von vielen Monaten.

Es ist eine bekannte Thatsache, daß manche Cementarbeiten, selbst bei tadelloser Qualität des Cementes im Freien Risse bekommen, und daß aus reinem Cement angefertigte Proben, die anfangs im Wasser erhärteten, im Zimmer sich durchaus rißfrei erhielten, während entsprechende Proben im Freien rissig werden. Dyckerhoff[1]) stellte nun Beobachtungen an über die Ursache der Rißbildung im Freien; die von Dr. Schuhmann über das Dehnen und Schwinden der Cementmörtel (s. S. 285) gewonnenen Resultate ließen ihn vermuthen, daß diese Volumänderungen die Ursache der Risse seien. Es wurden daher nach dieser Richtung hin die Untersuchungen fortgesetzt und namentlich das Verhalten der Mörtel an freier Luft gegenüber demjenigen im Zimmer beobachtet.

Zu diesem Zwecke wurden 15 Prismen von 10 cm Länge aus reinem Cement angefertigt, der aus den verschiedensten renommirten Fabriken stammte. Nachdem die Prismen 8 Wochen in einem feuchten Raume und 5 Wochen im Zimmer erhärtet waren, wurde ein Theil derselben ins Freie gelegt, während die übrigen im Zimmer verblieben. Nach Verlauf eines Jahres hatten die im Freien befindlichen Prismen sämmtlich Risse erhalten, während die Prismen im Zimmer keine Spur von Rissen zeigten. Die gleichzeitig vorgenommenen Messungen mittelst des Bauschinger'schen Apparates (s. S. 283) ergaben bei allen Prismen, so lange dieselben im feuchten Raume erhärteten, eine sehr geringe Ausdehnung; als sie (nach 8 Wochen) in das trockene Zimmer gebracht wurden, ein Schwinden. Diejenigen Prismen, welche nach 13 Wochen ins Freie gelegt wurden, zeigten ein abwechselndes Dehnen und Schwinden, während die im Zimmer gelassenen Prismen ein ständiges Schwinden aufwiesen. Nach Jahresfrist waren die Prismen im Zimmer durchschnittlich um 0,243 mm, die im Freien liegenden Prismen um 0,169 mm geschwunden; letztere weniger, weil sie durch atmosphärische Niederschläge zeitweilig naß wurden und dabei eine Ausdehnung erfuhren.

Hieraus ergiebt sich, daß nicht das absolut stärkere Schwinden die Ursache der Risse ist, sondern daß im Freien das ungleichmäßige plötzliche Dehnen und Schwinden und insbesondere das rasche Austrocknen an der Ober-

---

[1]) Thonind.-Ztg. 1882, S. 100.

fläche die Risse hervorruft. Die Risse wurden in der That auch stets in den Zeiträumen beobachtet, in welchen die Messung ein auffallend starkes Schwinden ergab.

Durch Zusatz von Sand wird, wie dies durch Messungen constatirt wurde, die Schwindung des Mörtels nicht nur geringer, sondern sie wird auch gleichmäßiger, und ist dies der Grund, warum man durch Sandzusatz zum Cement die Risse vermeiden kann. So sind Proben — eingestampfte Würfel von 10 cm Seite — mit ein oder mehr Theilen Sand nach mehreren Jahren im Freien rißfrei geblieben, während Würfel aus reinem Cement Risse erhielten. Solche Würfel mit Sandzusatz jedoch, bei denen die Oberfläche mit reinem Cement abgeglättet wurde, bekommen im Freien in diesem glatten, dünnen Ueberzuge Haarrisse.

Es ist also nicht allein zu verwerfen, daß Gegenstände, die der Witterung ausgesetzt werden, aus reinem Cement hergestellt werden, sondern es muß zur Vermeidung von Haarrissen auch Sorge getragen werden, daß dieselben keine Oberfläche aus reinem Cement erhalten.

Nach Dyckerhoff's Erfahrungen beeinträchtigen übrigens Haarrisse die Dauerhaftigkeit nicht — weil sie nur an der Oberfläche sich befinden — dieselben sollten jedoch des unschönen Aussehens wegen vermieden werden. Durch Zusätze anderer Materialien, welche eine größere Vertheilung des Cementes bewirken, erreicht man denselben Zweck, wie durch Zusatz von Sand, es wird dadurch ebenso die Entstehung von Rissen vermieden.

Um Cement gegen Witterungseinflüsse widerstandsfähig zu machen, werden nach E. Puscher[1]) die Cementfabrikate 24 Stunden lang in eine kalte Lösung von 1 Thl. Eisenvitriol in 3 Thle. Wasser gelegt, dann an der Luft getrocknet. Die dadurch entstandene Eisenoxydhydratverbindung macht nicht nur die Cemente dichter und härter, sondern auch widerstandsfähig gegen Witterungseinflüsse. Die Cementmasse nimmt dabei ohne Formveränderung 10 Proc. an Gewicht zu. Cementverputze sichert man gegen Witterungseinflüsse durch wiederholte Anstriche mit der erwähnten Eisenvitriollösung. Zeigt sich beim vierten Anstrich keine dunkle, grünlich-schwarze Färbung des Cementverputzes mehr, so ist das ein Zeichen, daß die Oberfläche mit der Eisenverbindung gesättigt ist. Nach dem Trocknen hat sich der Cementbewurf mit einer ockerfarbigen, nicht mehr mit Wasser abwaschbaren Schicht überzogen, auf welcher sich Wasserfarben haltbar zeigen. Ein zweimaliger Anstrich mit 5procentigem Seifenwasser genügt, um solche Cementverputze wasserdicht und nach dem Trocknen und Reiben mit einem Tuche oder einer Bürste glänzend wie Oelanstrich zu machen. Völlig widerstandsfähig werden die mit Eisenvitriol behandelten Cementgegenstände, wenn man sie erwärmt in eine heiße Mischung von gleichen Theilen Paraffin und Erdöl taucht. Auch für Anstriche auf altem und neuem Kalkbewurf ist die Eisenvitriollösung empfehlenswerth, da sie auch auf diesen abwaschbare und wasserdichte Ueberzüge erzeugt. Alte Kalkbewürfe müssen vorher von ihrer lockeren Farbe durch Abwaschen gereinigt werden. Auch für Krankenzimmer ist dieser Eisen-

[1]) Thonind.-Ztg. 1882, S. 240. Chem. Centralblatt 1882, S. 573.

vitriolanstrich zu empfehlen, da die Wände durch Abwaschen mit Seifenwasser, wodurch der Anstrich immer wasserdichter wird, leicht gereinigt werden können.

Alexander Jacques Magaud in Fontenes (Frankreich) wendet Lösungen von schwefelsaurem Zink, Eisenvitriol und Kupfervitriol zum Härten von Cement und Kalk an. Man kann entweder den Cement- oder Kalkmörtelverputz mit diesen Lösungen bestreichen oder auch die Mörtelmischungen mit den Lösungen anrühren, wobei man dann den Kalk- und Cementgehalt sehr vermindern darf (D. R.-P. Nr. 14 439).

Ein dem Wilhelm Reissig in Darmstadt patentirtes Verfahren (D. R.-P. Nr. 8203 vom 3. Mai 1879) bezweckt, auf kürzestem Wege und ohne Alterirung ihrer Form Gyps- und Cementgüsse und die dazu nöthigen Formen völlig wasserdicht herzustellen und zugleich damit eine Schicht zu erzeugen, die außer dem wiederholten Abwaschen mit Seifenwasser &c. auch das mechanische Reinigen von Staub &c. auf trockenem Wege gestattet.

Zur Ausführung desselben werden die gewöhnlichen oder mit Seife behandelten oder sonst nach irgend einer Methode präparirten Gypsgüsse bezw. Formen getrocknet; die Cementgüsse ebenfalls. Hierauf werden dieselben einfach mit einer Auflösung von Kautschuk oder Guttapercha in Benzol, in Petroleumäther oder in Schwefelkohlenstoff überzogen, bis nichts mehr davon einzieht. Durch Zusatz von geringen Mengen Schwefelchlorid zur Schwefelkohlenstofflösung des Kautschuks kann man die Schicht auch vulcanisiren. Wo es wünschenswerth ist, können den Kautschuk- oder Guttaperchalösungen Harze, Wachse, Firnisse &c. zugefügt werden, wie sie endlich auch noch mit beliebigen Farben versehen werden können. Kleinere Gegenstände können auch durch Eintauchen in die angegebene Lösung überzogen werden. Anstreichen und bezw. Eintauchen werden so lange wiederholt, bis nichts mehr einzieht und eine völlig wasserdichte Schicht gebildet ist.

Prof. Artus hat ein Verfahren angegeben, die Festigkeit und Haltbarkeit des Cementes zu steigern. Nach ihm werden 100 Pfd. Cement mit 200 Pfd. Sand und 5 Pfd. einer Mischung von gebranntem Gyps und geglühtem wasserfreiem Borax nebst so viel Wasser vermischt, wie zur Bearbeitung der Masse erforderlich ist. Die Mischung von Borax und Gyps geschieht derart, daß man 1 Pfd. Borax zum Glühen erhitzt (bis das Krystallwasser entwichen), dann erkalten läßt, pulverisirt und dazu 45 Pfd. gebrannten und gesiebten Gyps giebt. Artus betont, daß die Kosten für Herstellung dieser Mischung höchst gering sind, während sich die Haltbarkeit des Cementes um das Doppelte steigert, und empfiehlt das Verfahren namentlich zum Vergießen und Ausbessern von massiven Treppenstufen, Abwässerungen, Bekrönungen und zum Versetzen freistehender Cement- und Thonornamente.

Einen anderen, ebenfalls zum Vergießen, namentlich von Eisen und Stein oder Mauerwerk geeigneten Cement erhält man nach Artus, indem man 5 Thle. Portlandcement mit 1 Thl. fein gepulvertem ungelöschtem Kalk mischt, dann 3 Thle. trockenen Sand hinzugiebt, die Masse durch einander rührt und hierzu nun 1 Thl. Kalkbrei nebst Wasserglaslösung von 1,20 spec. Gew. bis zum Entstehen eines steifen Breies giebt; die Masse muß gleich verwendet werden,

indem sie mittelst einer Kelle auf das vorher mit Wasserglas angefeuchtete Eisenende und in die auszugießende Oeffnung eingegeben wird [1]).

Zur Conservirung von Holz ist ein Anstrich von Cement empfohlen worden [2]). Das zu bestreichende Holz soll jedoch nicht glatt (gehobelt) sein, am besten gesägt oder mit dem Sägehobel aufgerauht. Der Anstrich, von dem man stets nur so viel bereiten darf, als man in einer halben Stunde zu verbrauchen im Stande ist, wird wie folgt zusammengesetzt: 1 Thl. guter Cement, 2 Thle. feiner geschlämmter Sand, 1 Thl. ausgepreßter Käsestoff von frisch geronnener Milch und $^3/_4$ Thle. Buttermilch. Während der Anstrich aufgetragen wird, muß die Masse beständig aufgerührt werden, weil sich sonst der fein geschlämmte Sand am Boden des Gefäßes absetzt. Man streicht nicht zu fett und möglichst gleichmäßig, und wenn der erste Anstrich vollständig trocken ist, läßt man einen zweiten, ebenso vorsichtig gestrichenen folgen. Auch gehobelte Hölzer können bestrichen werden, nur ist der Anstrich nicht so dauerhaft und die Mischung kann etwas mehr Cement erhalten. Als Ueberzug über den Cementanstrich erhalten die Hölzer einen Anstrich mit grünem Erdfirniß. Bei senkrecht stehenden Hölzern genügt ein einziger solcher, bei solchen, die der Witterung sehr ausgesetzt oder in schräger Lage sind, streiche man zweimal.

Um dem Portlandcement, als künstlicher Stein, beliebige Farben zu geben, hat man auch versucht, denselben zu färben. Selbstverständlich verhindert die graue Farbe des Portlandcementes die Erzielung von hellen reinen feurigen Farben; eine jede Farbe wird verwischt und zum großen Theile überdeckt durch das mit der verdunstenden Feuchtigkeit nach außen geführte Kalkhydrat. Auch sind hierbei alle Farben ausgeschlossen, welche durch die stark alkalische Reaction des Portlandcementes verändert werden.

Die Farben und die hinzuzusetzenden Mengen, um die gewöhnlich verlangten Nüancen zu erzielen, sind nach Rud. Dyckerhoff folgende [3]):

Schwarz, Braunstein	12	Proc.
Roth, Caput mortuum	6	„
Grün, Ultramaringrün	6	„
Blau, Ultramarinblau	5	„
Gelb / Braun } Ocker	6	„

Bedeutend schöner werden alle mit den vorgenannten Farben hergestellten Gegenstände, wenn sie nach einiger Zeit mit verdünnter Wasserglaslösung einige Male überstrichen und mit Bimsstein abgeschliffen werden.

---

1) Baugewerkszeitung 1869, S. 33.
2) Chem. Centralblatt 1884, S. 542.
3) Thonind.-Ztg. 1882, S. 104.

O. Lehmann[1]) hat den Einfluß, den die verschiedenen Farbstoffe auf die Festigkeit ausüben, durch directe Versuche festgestellt. Ein bestimmter Cement, der, nach dem Normenverfahren geprüft, an sich nach 1 Monat 16 kg und nach 6 Monaten 25,7 kg absolute Festigkeit aufwies, wurde mit verschiedenen Farben versetzt, so daß deren Gewichtstheil in der gefärbten Mischung 10,20 bis 50 Proc. betrug. Da gleiche Wassermengen je nach der angewandten Farbe sehr verschiedene Consistenzzustände ergaben, so wurden jedesmal die Wassermengen dem Bedürfniß angepaßt, und zwar wurde jedesmal so viel Wasser zugegeben, daß etwa eine Consistenz wie bei den Normalproben entstand. Alle Proben wurden direct aus dem Wasser geprüft.

Bei diesen Versuchen ergab sich: Während alle Farben, die angewendet wurden, die Festigkeit verminderten, erhielt man bei den Ultramarinfarben (blau und grün) eine Festigkeit, die selbst bei 40 Proc. Farbengehalt noch über die Festigkeit des ungefärbten Cementes erheblich hinausging.

Lehmann nimmt an, daß die Zunahme der Festigkeit lediglich durch die hydraulischen Eigenschaften des Ultramarins bedingt sei.

Nach R. Dyckerhoff[2]) wird gleichfalls durch den Zusatz der Ultramarinfarben die Festigkeit des Cementes etwas erhöht, dagegen durch die übrigen Farben etwas geschwächt; diese letztere Wirkung wird indeß wieder dadurch aufgehoben, daß der Cement nach Beimischung der Farben nochmals gemahlen wird, wodurch der Cement an Feinheit gewinnt und die Festigkeit sich wieder so weit erhöht daß ein Unterschied gegen den gewöhnlichen Cement nicht mehr besteht. So ergaben schwarze (mit 12 Proc. Braunstein) und rothe (mit 6 Proc. Caput mortuum) Cemente, wie sie langsam bindend zur Platten-, überhaupt Kunststeinfabrikation geliefert werden, bei der Normenprobe nach 24 Tagen eine Festigkeit von 20 kg pro Quadratcentimeter.

Erdmenger hat gleichfalls nachgewiesen, daß ein Zusatz von Ultramarin die Festigkeit erhöht[3]). Ein Cement, nach den Normen mit 3 Thln. Sand geprüft, gab nach 1 Monat 16 kg, nach 6 Monaten 25,7 kg Festigkeit. Es wurden nun diesem Cemente 40 Proc. Ultramarinblau beigemischt und die so erhaltene Masse mit 3 Thln. Sand eingeformt, so daß also jetzt nur $^6/_{10}$ Gewthle. Cement auf 3 Gewthle. Sand + 0,4 Gewthle. Farbe kamen, mithin der Cement zu den übrigen Bestandtheilen sich verhielt wie 1 : 5,7. Gleichwohl war nun die Festigkeit nach 1 Monat 18,5 kg und nach 6 Monaten 31,5 kg. Bei 40 Proc. Zusatz von Ultramaringrün war die Festigkeit in den entsprechenden Zeitfristen 17,5 kg und 28,0 kg. Die Proben wurden vor dem Zerreißen direct aus dem Wasser entnommen und waren ausschließlich in demselben erhärtet.

Wie oben bemerkt, nimmt Lehmann an, daß die Zunahme der Festigkeit lediglich durch die hydraulischen Eigenschaften des Ultramarins bedingt sei; hierzu

---

[1]) Deutsche Bauzeitung 1880, S. 500. Wagner's Jahresber. d. chem. Technologie 1880, S. 517.

[2]) Thonind.-Ztg. 1882, S. 104. Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1882, S. 667.

[3]) Thonind.-Ztg. 1880, S. 397.

bemerkt Erdmenger[1]): Daß eine chemische Action denkbar ist, kann gewiß zugegeben werden, allein ihn bestimmen verschiedene Wahrnehmungen und Analogien mit anderen Untersuchungen (Zusatz von Fettkalk, geschlämmter Kreide zu Portlandcement) dazu, die Festigkeitserhöhung in der Erhärtungszunahme vor Allem physikalischen Verhältnissen zuzuschreiben (s. S. 316).

Sehr dauerhafte Färbungen erhält man nach Dr. Frühling[2]) durch stereochromische Anstriche. Auch lassen sich billige und dauerhafte Anstriche erzielen, wenn man dem trockenen Farbekörper ein gleiches Volumen feinst gepulverten (vorher geglühten und abgelöschten) Chalcedon (Feuerstein) beimengt und diese Mischung, mit dünner Kalkmilch angerührt, auf die frischen Oberflächen der Cementarbeiten aufträgt. Noch besser haftet der Anstrich, wenn man der flüssigen Farbe etwas Wasserglas beimischt. Das durchscheinend hellgraue Pulver des Chalcedons hat eine so geringe Deckkraft, daß die Farben durch dessen Beimengung kaum verändert werden.

Selbstverständlich sind nur echte, gegen Alkalien unempfindliche Mineralfarben hierzu anwendbar. Der Widerstand der Anstriche gegen atmosphärische Einflüsse ist so vollständig, wie der des Cementgusses selbst; ein Ablösen findet nicht statt. Der Ton dieser Anstriche ist sehr angenehm durchscheinend.

Wandflächen von großer Schönheit erhält man durch Auftragen einer Mischung von feinst pulverisirtem Marmor und Chalcedon zu gleichen Theilen. Dieser Mischung setzt man etwas Chromgrün (Chromoxyd) zu, so daß der Ton derselben schwach zur Geltung kommt. Das Auftragen des Anstriches muß stets kurz nach dem Abbinden des Cementes geschehen und die Technik muß so gehandhabt werden, daß möglichst ein einziger Anstrich genügt, um die gewünschte Farbe zu erreichen. Gelingt dieses nicht, so muß der zweite Anstrich mit der in verdünnter Wasserglaslösung vertheilten Farbe gemacht werden. Ein reichliches Benetzen der Arbeit während der ersten acht Tage nach der Vollendung ist unerläßlich, um die innigste Verbindung des Anstrichs mit der Cementmasse zu erzielen.

J. Ferwer in Trier ließ sich polychromische Cemente patentiren[3]) (D. R.-P.). Diese neuen Producte, welche mit den bekannten Cementen nur die Eigenschaft des Erhärtens gemein haben, werden auf folgende Weise dargestellt: 5 Thle. kohlensauren Kalk (nicht Kreide) und 1 Thl. Ultramarin werden mit ein wenig Wasser zu einer zusammenhängenden plastischen, 1 cm dicken Masse vereinigt; trocken geworden, wird dieselbe mit einer gesättigten wässerigen Lösung von eisenfreiem Zinkvitriol so lange überstrichen, als diese noch eindringt und die Oberfläche nicht wieder aufweicht; wieder getrocknet und jetzt mit einer schwach erhärteten Oberfläche versehen, wird sie in eine auf 64° erwärmte Zinkvitriollösung gebracht, jedoch ohne sie früher darin ganz unterzutauchen, bis sie von derselben durchzogen ist; alsdann wird sie einige Male darin umgewandt und nach

---

1) Deutsche Bauzeitung 1881, S. 21.

2) Dingl. pol. J. 199, 497.

3) Thonind.-Ztg. 1878, S. 280. Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1878, S. 714.

ungefähr fünf Stunden herausgenommen; dadurch wird die Masse in einen mehr als marmorharten, dem Lasursteine ähnlichen Stein verwandelt, der sich schleifen und poliren läßt und der Einwirkung der Luft und des Wassers widersteht. Die Untersuchung ergab, daß die erlangte Härte von aufgenommenem Wasser herrührt.

Das Ultramarin kann durch jede andere Mineralfarbe ohne Veränderung ersetzt werden und solche Cemente lassen sich in allen Farbentönen darstellen für die Verwendung zu decorativen Zwecken.

Rud. Dyckerhoff[1]) bemerkt zu diesen Cementen: es lasse sich noch nicht bestimmen, ob die Marmorhärte derselben sich auf die Dauer bei Einwirkung des Wassers und der Luft halten werde. Die mit feinst gemahlenem Marmor mit und ohne Ultramarin hergestellten Probestücke seien allerdings sehr schön. Die Manipulation sei immerhin eine schwierige und langwierige; diese Cemente eignen sich auch, wie Ferwer selbst bemerkt, nur zur Herstellung von Flächen, da beim Bestreichen der noch nicht festen Masse mit Zinkvitriollösung die Kanten ꝛc. zerstört werden.

Als Ersatz für Marmormosaik werden in neuester Zeit von verschiedenen Fabriken Cementmosaikplatten für Fußbodenbeläge, für Wandverkleidungen ꝛc. gefertigt.

Die Firma Windscheid, Göcke & Co. in Köln[2]) (D. R.-P. Nr. 11 393 vom 27. Januar 1880) stellt ihre Mosaikplatten derart her, daß kleine, von der Maschine geschnittene farbige Cementwürfel von etwa 7 mm Seitenlänge in eine verbindende Cementunterlage eingepreßt werden; letztere bildet den weißen, grauen oder farbigen Grund für die von den Mosaikwürfelchen dargestellte Zeichnung. Die Platten werden geschliffen und in quadratischer Größe von 30 cm Seite geliefert.

Cementmosaikplatten werden auch dargestellt von der Fabrik: Bauhütte für Kunststeine von J. Monod von Froideville in Potsdam, dann von H. Reinarz in Heerdt bei Düsseldorf, von Freiherrn von Löwenstern in Ober-Alm, Neumüller in Nußdorf bei Wien[3]) ꝛc.

O. F. Jonath ließ sich ein Verfahren zur Bildung von marmorirten Cementgegenständen patentiren (D. R.-P. Nr. 28 338 vom 20. November 1883).

Je nachdem man drei- oder mehrfarbig marmorirte Cementgegenstände erzeugen will, wird verschieden gefärbter Cement, und zwar jede Farbe besonders, zu einem möglichst steifen Teig mit Wasser angemischt; dann wird der farbige Cementteig im Wechsel lagenweise über einander gelegt, und bedingt dabei die Art der Marmorirung, welche man erzeugen will, auch die Art und Weise, in welcher das Uebereinanderlegen zu geschehen hat. Der so gebildete, verschiedenartig gefärbte Cementklumpen wird dann zu einer compacten Masse zusammengeklopft. Will man recht dünne Aderungen erzeugen, so hat man den Klumpen nur recht breit aus einander zu klopfen. Dann schneidet man den Cementklumpen je nach Bedarf für den zu erzeugenden Gegenstand in dünne oder dickere Scheiben,

---

[1]) Industrieblätter 1878, S. 342.

[2]) Thonind.-Ztg. 1880, S. 414.

[3]) Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1878, S. 713.

und zwar so, daß die Schnittfläche die verschiedenartig gefärbten Lagen durchschneidet, ordnet diese jetzt verschiedenfarbig geordneten Scheiben in der Form und stampft sie darin fest ein. Nachdem die Gegenstände genügend erhärtet sind, nach etwa 24 Stunden, wird die Form entfernt, den geformten Gegenstand läßt man dann ca. 4 Wochen unter Wasser erhärten.

Um gefärbten und ungefärbten Cementkunststein zu poliren, verfährt man nach O. F. Jonath in Hanau (D. R.-P. Nr. 27 579 vom 20. November 1883) folgendermaßen: Die geformten erhärteten Gegenstände schleift man anfangs mit Sandstein, dann mit Bimsstein, wobei bei marmorirten Gegenständen die Marmorirung deutlich heraustreten muß. Die nach dem Schleifen etwa zum Vorschein kommenden Poren werden nun mit entsprechendem gefärbtem Cementbrei gespachtelt. Nachdem der Gegenstand dann ferner einen 10- bis 14tägigen Erhärtungsproceß durchgemacht hat, wird der überschüssige Spachtelcement mit Bimsstein abgeschliffen. Dann läßt man ihn an der Luft austrocknen.

Nach dem Trocknen trägt man auf die zu polirenden Flächen mit einem Pinsel oder Schwamm Wasserglas von 20° auf, bis nichts mehr hineinzieht. Dadurch gewinnt der Gegenstand an Härte und verdichtet sich vollständig. Das auf der Oberfläche angetrocknete Wasserglas wird nun mit Bimsstein abgeschliffen. Dann beginnt der Politurschliff mittelst sehr feinen Smirgelpulvers. Letzteres wird dünn über die zu polirende Fläche gestreut; durch geschicktes Reiben mit einem leinenen Ballen, welcher abwechselnd mit Wasserglas von 20° und Alaunwasser angefeuchtet wird, tritt dann bald ein sehr hoher Grad von Politur hervor. Zum Schluß polirt man die Fläche mit Schwefelpulver und Zinnasche ab, indem man den Ballen wieder ein wenig mit Alaunwasser anfeuchtet und so lange reibt, bis der Ballen trocken ist.

Hier und da wird auch auf Cementverputz ein Oelfarbenanstrich hergestellt; hierbei wird gewöhnlich vorher die Oberfläche des Verputzes mit sehr verdünnter Säure abgewaschen, um die meistens sich zeigenden hellen Flecken von kohlensaurem Kalk zu entfernen. Die Waschung mit verdünnten Säuren bewirkt beim Verputz, welcher mit einem zu geringen Sandzusatze hergestellt wurde und eine porzellanartige Oberfläche bekommen hat, eine feinkörnige Rauhheit der Fläche, auf welcher der Anstrich besser haftet.

Nach Dr. H. Frühling ist ein das Waschen mit verdünnten Säuren weit übertreffendes Mittel, den Cementverputz für Oelfarbenanstriche zu präpariren, die Anwendung von kohlensaurem Ammoniak. Namentlich empfiehlt sich dazu das durch längeres Aufbewahren an der Luft zerfallene Salz, welches im Wesentlichen doppeltkohlensaures Ammoniak ist. Bestreicht man den etwa 20 Tage alten Verputz mit einer Auflösung von ca. 100 g des Salzes in 10 Liter kaltem, höchstens lauwarmem Wasser, so zeigt die Fläche nach dem Austrocknen eine gleichmäßige hellgraue Farbe, und ist nun zur Aufnahme von Oelfarbenanstrichen ausgezeichnet vorbereitet. Ueber die Haltbarkeit des Anstriches hat Frühling verschiedene Proben gemacht, indem er auf einer Seite bestrichene Probestücke einige Tage lang in Wasser aufbewahrte, dann mit der Farbenfläche der Mittagssonne und im Winter dieselben Stücke den gesammten Einflüssen der Atmosphäre

aussetzte, ohne daß er bemerkenswerthe Beschädigungen des Anstriches beobachten konnte [1]).

Wo man sich der gewohnten Waschungen mit Säuren noch bedienen will, ist jedenfalls der Schwefelsäure der Vorzug zu geben. Chlorcalcium, bei Waschungen mit Salzsäure, essigsaurer Kalk, bei denen mit Essig sich bildend, sind beide sehr hygroskopische Salze, welche bei ihrem andauernden Feuchtigkeitsgehalte die Oberfläche des Cementverputzes für Oelfarbenanstriche jedenfalls nicht vortheilhaft disponiren [2]).

Nach Dr. Michaëlis ist die Behandlung von Cementputzflächen mit verdünntem Wasserglas die vorzüglichste Vorbereitung für einen Oelanstrich. Da verdünntes Wasserglas sehr viel leichter von der Kohlensäure zerlegt wird, als eine concentrirte Lösung, so empfiehlt es sich, dem Wasserglas des Handels die drei- bis vierfache Menge Wasser hinzuzufügen. Einige Zeit zuvor, ehe man einen zweiten und dritten Anstrich mit dieser Lösung giebt, wasche man, wofern ein inzwischen eingetretener Regen dies nicht schon gethan, mit reichlichem Wasser das Alkali fort.

Die Wirkung des Wasserglases ist hier die: Mit dem kaustischen Kalke in der äußeren Kruste kieselsauren Kalk zu erzeugen und durch die Einwirkung der atmosphärischen Kohlensäure, welche sich des mit der Kieselsäure verbundenen Alkalis bemächtigt, Kieselsäure in den äußeren Poren abzuscheiden, welcher außer ihrer totalen Unlöslichkeit noch ganz vorzüglich verkittende Eigenschaften zukommen [3]).

Im Anschlusse an die Wassermörtel sei hier eines feuerfesten Cementes erwähnt, der von H. Neuenheuser in Bonn erfunden wurde und von Franz Coblenzer in Cöln unter dem Namen Plastischer Dinaskrystall fabricirt wird. C. Bischof [4]) hat denselben einer eingehenden Untersuchung unterstellt und dabei Nachstehendes gefunden: Das pulverförmige grauweiße Material fühlt sich durchweg fein, nicht körnig an und färbt puderartig ab. Auf einem Messingsiebe mit 225 Maschen auf 1 qcm bleibt von dem bei aller Feinheit doch knirschenden Mehle nichts Siebgrobes liegen. Erst auf einem Siebe mit 720 Maschen verbleibt ein Rückstand von 3,4 Proc., bestehend aus ganz gleich feinem Streusande, der unter der Lupe klare, durchscheinende runde Quarzkörnchen mit nur wenigen schwarzen Pünktchen wahrnehmen läßt. Mit Wasser digerirt, reagirt die Masse schwach alkalisch, und es wird eine geringe Menge Kalk nebst Kieselsäure ausgezogen; mit Salzsäure übergossen, zeigt sich keine Bläschenentwickelung.

Die mit Wasser angemachte Masse giebt einen außerordentlich bildsamen, jedoch in der Luft in kurzer Zeit thonharten Teig, dessen kittähnliche Beschaffen-

---

1) Polyt. Centralbl. 1871, S. 261.

2) Thonind.-Ztg. 1881, S. 334.

3) Dr. Michaëlis, Die hydraulischen Mörtel &c. S. 313.

4) Dingl. pol. J. 218, 373; 221, 345; 222, 570. Thonind.-Ztg. 1882, S. 4. Seger, D. Töpfer- u. Ziegler-Ztg. 1876, S. 273.

heit jedwede beliebig gewünschte Formbildung, sowohl in scharfkantigster als zartester Weise zuläßt. Je nach der Menge des zur Teigbildung verbrauchten Wassers ist das Schwinden des Materials bei völliger Austrocknung bis zu 170° ein größeres oder geringeres. So beträgt die Schwindung bei einem Wasserzusatz von 18 bis 20 Gewthln. auf 100 Thle. Masse 5 bis $5^1/_2$ Proc. linear; vermindert man aber denselben bis auf 14 Thle. und noch weniger, so beträgt sie 3, selbst nur 2 Proc. linear. Die getrocknete recht dichte Masse, geglüht bis zur hellen Rothglühhitze, verhält sich in der ausgezeichnetsten Weise hinsichtlich völliger Unveränderlichkeit. Wird der Hitzegrad höher gesteigert, so machen sich erst in Gußstahlschmelzhitze Anzeichen einer Schmelzung, ein beginnender glänzender Schmelz sichtbar. Wurde endlich die Hitze so weit getrieben, daß ein in einer Thonerdekapsel eingeschlossener Platindraht zur Kugel zusammenfloß, so war die Masse außen stark glasirt, glasglänzend, innen löcherig-hohlig, rundblasig.

Die chemische Analyse ergab nachstehende Zusammensetzung:

Kieselsäure	86,42
Thonerde	9,33
Eisenoxyd	0,86
Kalk	0,34
Magnesia	0,22
Alkali (als Kali berechnet)	0,37
Glühverlust	2,40
	99,94

Dieser feuerfeste Cement vereinigt mehrere günstige Eigenschaften in sich, welche seine Verwendung ermöglichen. Derselbe, mit Wasser angemacht, vermag sich jedweder beliebigen Form anzubequemen; die complicirtesten Formen lassen sich damit sofort in jeder Größe wie Stärke leicht und in einem Stück ausführen. Das Material kann daher als Ersatz für alle Arten feuerfester Formsteine, ferner zum Anwurf, Futterreparatur, zu Feuerungsanlagen jeglicher Art bis zur kleinsten hinab dienen. Besonders hervorzuheben ist das Verhalten der ausgetrockneten Masse, in bis zur Gußstahlhitze gesteigertem Hitzegrade vollkommen unveränderlich zu bleiben. Das Material brennt sich dabei fest und erhärtet und macht daher ein Brennen vor der Benutzung überflüssig.

Höchst einfach ist die Gebrauchsanweisung: der feuerfeste Cement wird ohne Zusatz anderer Materialien (also auch ohne Kalk) mit so viel Wasser angemacht, als dem Zwecke entspricht, wozu er dienen soll. Zum Vermauern sowie zum Putzen z. B. wird mehr Wasser zuzusetzen sein, als wenn man Werkstücke fabricirt.

h. Scott's Selenitmörtel und Magnesiacement.

Im Jahre 1854 machte ein englischer Ingenieurofficier, H. Y. D. Scott, die Beobachtung, daß Aetzkalk, in der Rothglühhitze den Dämpfen von brennendem Schwefel ausgesetzt, sich nicht mehr löscht, aber zerrieben und mit Wasser

angemacht, hydraulische Eigenschaften erlangt [1]). Hierbei zeigte sich auch, daß an sich hydraulische Kalksteine einen noch besseren Cement lieferten, als gewöhnliche sich fett löschende Kalksteine. Das so gewonnene Product wurde in England auch unter dem Namen Scott'scher Cement im Militärbauwesen angewendet.

Zur Aufklärung des Vorganges bei der Bildung dieses Cementes, sowie zum Verständniß der Grundlagen und Bedingungen seiner hydraulischen Eigenschaften führte Fr. Schott [2]) umfassende Versuche aus und wies durch dieselben nach, daß der Scott'sche Cement zwar je nach der Temperatur der Darstellung mehr oder weniger Schwefelcalcium enthalte, daß derselbe aber seine hydraulische Eigenschaft lediglich der Zusammenwirkung von Aetzkalk und schwefelsaurem Kalk in der Hitze verdanke. Schott zeigte auch, daß sehr verschiedene Gemenge beider von 1 Mol. bis 6 Mol. Kalkerde auf 2 Mol. schwefelsauren Kalk dazu taugen — und daß die Hydraulicität der verschiedenen Gemenge in hohem Grade abhängig ist von der Temperatur, welcher sie beim Glühen ausgesetzt werden. Selbst bloßer bis zum Sintern geglühter Gyps besitzt noch deutlich hydraulische Eigenschaften [3]).

Später änderte auch Scott sein Verfahren dahin ab, daß er dem gewöhnlichen Kalk vor der Behandlung in der Glühhitze etwa 5 Proc. Gyps zusetzte. Dieser so bereitete Cement nimmt langsam Wasser auf und erhärtet unter mäßiger Wärmeentwickelung sehr stark, verträgt aber die dauernde Einwirkung des Wassers nicht ohne zu erweichen, wegen der zu großen Löslichkeit des Gypses.

Der Werth dieses Cementes für die Praxis stand nicht im Verhältniß mit den Herstellungskosten, er fand wenig Eingang. Dieser Umstand brachte Scott auf eine neue Abänderung zur Herstellung seines Cementes: er setzte den Gyps, etwa 2 bis 5 Proc., einfach beim Löschen des Kalkes zu, ohne ihn nochmals damit zu brennen; dabei wurde die Sache ebenso einfach und billig, wie sie vorher umständlich und theuer war. Mit dieser Abänderung ist Scott's Cement ein ganz und gar anderer, auf verschiedenem Principe beruhender geworden. Es genügt in der That, das Wasser, worin man den gewöhnlichen Kalk wie üblich löscht, vorher mit einigen wenigen Procenten Gyps zu versetzen, und das ganze Verhalten des Kalkes ist ein anderes. Er löscht sich in dem gypshaltigen Wasser nicht mehr wie gewöhnlich oder nur äußerst unvollkommen. Mit Gyps behandelter Kalk erhitzt sich nicht oder wenig beim Löschen und giebt einen rascher und stärker erhärtenden Mörtel mit Sand, und zwar verträgt derselbe doppelt so viel Sand als der fette Maurerkalk ohne Gyps. Diesem neuen Cement hat Scott den Namen Selenitmörtel, selenitic mortar, gegeben [4]).

Nach vorliegenden Angaben soll der Selenitmörtel auf folgende Weise zubereitet werden: Man setzt dem Wasser zuerst den Gyps zu und nach gehöriger Mischung beider den Kalk und verarbeitet ihn mit dem Gypswasser unter der

---

1) Dingl. pol. J. **146**, 292; **175**, 292. Knapp, Amtlicher Bericht über die Wiener Weltausstellung 1873, **3**, 580.
2) Dingl. pol. J. **202**, 52.
3) Ebend. **202**, 355.
4) Engineer, December 1871 u. September 1872; Engineering and Mining Journal, Januar 1871. Scientific American, August u. December 1871.

Mörtelmühle zu einem gleichmäßigen dicklichen Schlamm 3 bis 4 Minuten lang; zuletzt incorporirt man den Sand ebenfalls in der Mörtelmühle 10 Minuten lang.

Anstatt Gyps kann nach Scott auch eine entsprechende Quantität Schwefelsäure, Eisenvitriol oder ein ähnliches Sulfat genommen werden, was natürlich immer auf dasselbe, nämlich auf die Bildung von schwefelsaurem Kalk hinausläuft[1]).

Fr. Schott[2]) hat diese so merkwürdige und praktisch wichtige Wirkung des schwefelsauren Kalkes auf den gebrannten Kalk einer wissenschaftlichen Untersuchung unterstellt, wobei er nachstehende Thatsachen feststellte. Von den englischen Ingenieuren wurde die Beobachtung gemacht, daß diejenigen Kalke, die sich bei der gewöhnlichen herkömmlichen Behandlung schlecht und träge löschen und so mager verhalten, daß sie an der Grenze der Brauchbarkeit stehen, gerade die geeignetsten für den Selenitmörtel sind. Hiermit in Einklang fand auch Schott, daß auf Kalk, der sich im Wasser augenblicklich ablöscht, der Gyps keinen Einfluß hat; dagegen bei langsam löschenden Kalken, die dem Einfluß des Gypses Zeit lassen, verzögert derselbe das Löschen beträchtlich, bis zum Erlahmen der dabei auftretenden Erscheinungen, sowohl des Aufschwellens als der Wärmeentwickelung. So weit geht schon die Wirkung einer gesättigten Gypslösung.

Bei Zusatz von mehr Gyps, als das zum Anmachen des Kalkes nothwendige Wasser zu lösen vermag, knüpft sich an die Abschwächung des Löschens noch eine zweite Erscheinung, nämlich die Fähigkeit des Kalkes, zu erhärten, und zwar in einer Weise, die dem wie gewöhnlich gelöschten Kalk nicht zukommt, nämlich hydraulisch, d. i. mit Ausschluß der Kohlensäure unter dem bloßen Einfluß des Wassers.

Die Erhärtung erfolgt schon vollkommen bei Zusatz von 1,5 Gewthln. Gyps auf 100 Gewthle. Kalk und wird durch Vermehrung des Zusatzes nicht weiter erhöht. Die bindende Kraft, welche der Kalk dabei erlangt, ist so beträchtlich, daß sie selbst durch einen sehr starken Ueberschuß von ungebranntem Gyps, bis 50 und 75 Proc. des Kalkes, noch nicht aufgehoben wird. Der Ueberschuß von Gyps ist aber nur ein bloßer todter Ballast (wie Sand u. dergl.).

Mit dem Eintreten der Erhärtung, also mit dem ersten Abbinden, tritt noch fühlbare Erwärmung ein. Bei dickeren Massen, 3 cm dicken Kugeln oder 3 cm starken Platten, steigt die Erwärmung immerhin bis zur Dampfbildung im Inneren und in Folge dessen zum Zerfallen in Körner und Mehl. Durch Einlegen der Masse in kaltes Wasser nach dem Beginne des Abbindens wird die Dampfbildung durch Zerstreuung der Wärme und der Guß am Zerfallen gehindert. Besonders dünne Güsse oder kleinere Stücke behalten ihren Zusammenhang auch ohne Abkühlen durch Wasser.

---

[1]) Fr. Schott macht darauf aufmerksam, daß schon im Jahre 1865 F. Schwärzler von Bregenz, bei Gelegenheit von Versuchen über die künstliche Erzeugung von lithographischen Steinen, diese Wirkung des Gypses auf Kalk auf nassem Wege beobachtete.

[2]) Dingl. pol. J. 209, 30.

Weitere Versuche über das Verhalten von Kalk und Gyps im Selenitmörtel ergaben folgende Thatsachen: Der gebraunte Kalk entzieht der Gypslösung — unter mäßiger Erwärmung, Zusammenhang seiner Theile mit ziemlicher Erhärtung und Beibehaltung seiner Farbe — einige Tausendstel seines Gewichtes an Kalksulfat; die Menge des aufgenommenen Kalksulfates steigt und fällt mit dem Vorrath an Kalksulfat in der umgebenden Flüssigkeit; sie betrug bei Gypsmilch 1,8 mal so viel als bei Anwendung bloßer gesättigter Gypslösung; der Kalk giebt endlich das aufgenommene Sulfat an einen Ueberschuß von Wasser wieder vollständig ab. Der Kalk erschöpft die Gypslösung bei Weitem nicht, er entzieht vielmehr von dem darin vorhandenen Kalksulfat nur einen sehr kleinen Theil; der geringe Betrag des vom Kalke aufgenommenen Sulfats ist demnach in keiner Weise eine Folge von Mangel an solchem in der umgebenden Lösung, sondern in der Natur der Erscheinung selbst begründet.

Schon das Schwanken der Menge des aufgenommenen Kalksulfates, je nach dem Gehalte der Lösung, und nicht minder der geringfügige Betrag spricht entschieden dagegen, daß hierbei eine chemische Verbindung, etwa die Bildung eines basischen Kalksulfates, eintritt. Um so ausgeprägter haben dagegen die Erscheinungen den Charakter eines physikalischen Vorganges, einer Absorption durch Flächenanziehung.

Die Flächenanziehung kann nur allmälig wirken, nicht plötzlich; der Kalk, welcher den Gyps auf sich verdichtet, wie die spinnbare Faser den Farbstoff, kann sich nur in dem Maße damit sättigen, als immer neue Antheile der Lösung an ihn herankommen; er bedarf dazu Zeit, nicht Secunden, sondern Minuten. Ein hitzigerer Kalk löscht sich augenblicklich mit dem Wasser, ehe er Zeit findet zur Absorption des Gypses; ein matter Kalk dagegen hat reichlich dazu Zeit, ehe die Erscheinungen des Löschens sich geltend machen.

Der Ausgangspunkt der eigenthümlichen Wirkung des Gypses ist daher die Flächenanziehung des Kalkes; indem sie sich bethätigt, überzieht sich der Kalk in allen seinen Theilen mit Gyps, und zwar mit Gyps, der eben aus Gründen seiner Niederschlagung in der umgebenden Flüssigkeit unlöslich ist. Die Theilchen des Kalkes sind unter diesen Umständen wie mit einem Firniß überzogen, aber einem Firniß, der den Zutritt des Wassers zu dem eingeschlossenen Kalk zwar bedeutend erschwert, ohne ihn, der Natur des Gypses entsprechend, gänzlich abzuschneiden. Unter dieser Bedingung erfolgt nun der zweite Act des Vorganges, macht sich die Affinität des Kalkes zum Wasser geltend, tritt die Bildung von Kalkhydrat ein. Das Wesentliche dabei ist, daß sie in Folge der beschränkten Berührung zwischen Kalk und Wasser sich nur allmälig und langsam vollziehen kann. Diese verlangsamte Bindung des Wassers hat zur Folge, daß die Entbindung von Wärme verlangsamt wird; die Wärme wird nur allmälig frei, so daß auch der größte Theil in derselben Zeit wieder zerstreut wird; der Kalk wird zu Hydrat, ohne sich zu löschen, er wird hydraulisch. Die hydraulisch erhärtete Masse nimmt natürlich an der Luft erst ihre eigentliche volle Festigkeit und bindende Kraft durch Absorption von Kohlensäure an.

Nach einem englischen Patent, welches Lake in London (13. Juli 1872) für E. F. Schott erhielt, wird Gypscement gewonnen, indem man natürlich

vorkommenden Anhydrit zu Pulver mahlt, mit 73,5 Proc. Kalkstein oder Kreide, gleichfalls gepulvert, mischt und das Gemisch in einem Siemen'schen Puddelofen schmilzt. Die geschmolzene Masse wird zerkleinert.

Daß die reine Magnesia für sich hydraulische Eigenschaften besitzt, d. h. einen Wassermörtel giebt, wurde zuerst im Jahre 1826 von Macleod[1], und dann später von Vicat[2]) (1836) und von Pasley[3]) (1847) beobachtet, aber ihre Angaben fanden keine praktische Verwerthung. Erst als St. Claire-Deville[4]) in einer im Jahre 1865 veröffentlichten Arbeit: Ueber die Hydraulicität der Magnesia, wiederholt diese Erscheinung bestätigte, wandte sich ihr die allgemeine Aufmerksamkeit zu.

Deville fand nämlich zufällig, daß aus Chlormagnesium durch Glühen erzeugte Magnesia in Stücken lange Zeit einem Wasserstrahl ausgesetzt, so hart wurde, daß sie Marmor ritzte, dessen specifisches Gewicht und Festigkeit sie zeigte; in dünneren Stücken war sie durchscheinend. Nachdem die erhärtete Masse sechs Jahre an der Luft gelegen, änderte sich dieselbe in ihrer Textur und Festigkeit nicht und zeigte nach diesem Zeitraume folgende Zusammensetzung:

Wasser	27,7
Kohlensäure	8,3
Thonerde und Eisenoxyd . . .	0,3
Magnesia	57,1
Sand	5,6
	100,0

Es war also ein dem Brucit entsprechendes Hydrat gebildet worden, welches wie dieser sich nicht durch Aufnahme von Kohlensäure in Magnesiumcarbonat verwandelt. Die Brauchbarkeit der Magnesia zu Wassermörtel hängt jedoch ganz und gar von ihrer Dichtigkeit ab. Magnesia, bei niedrigerer Temperatur gebrannt, wie sie für die Bereitung der Magnesia usta der Apotheken angewandt wird, giebt ein sehr lockeres Pulver, welches mit Wasser nur zu einer Gallerte aufquillt; das beste Resultat erzielt man aus Magnesia, welche durch Glühen von Chlormagnesium erhalten wird; die so dargestellte Magnesia verhält sich, wenn sie zum Hellrothglühen erhitzt worden ist, stark hydraulisch; wird sie dagegen 12 Stunden lang weiß geglüht, dann gepulvert und mit Wasser zu einem Teig angemacht, so erhärtet sie nicht mehr, wenn man sie nicht mehrere Wochen lang der Luft aussetzt, und auch dann findet das Erhärten immer nur langsam statt.

---

[1]) Michaëlis, Die hydraulischen Mörtel &c. 1869, S. 42. Knapp, Amtlicher Bericht über die Wiener Weltausstellung 1873, 3, 577.

[2]) Compt. rend. 2, 358.

[3]) Observations on limes, calcareous cements etc. London 1847, 61.

[4]) Dingl. pol. J. 179, 309.

Deville fand weiter, daß auch ein Gemenge von gepulverter Kreide oder gepulvertem Marmor und fein geriebener Magnesia (in gleichen Theilen) mit Wasser einen etwas plastischen Teig giebt, welcher sich gut formen läßt und, einige Zeit in Wasser gelegt, Producte von einer außerordentlichen Festigkeit liefert, und daß diese Masse sich zum Gießen von Büsten eignet.

Weitere Versuche von Deville und Hauenschild[1]) mit Dolomit ergaben, daß derselbe, schwach gebrannt, so daß nur das Magnesiumcarbonat seine Kohlensäure verliert, das Calciumcarbonat aber unverändert bleibt (also bei einer Temperatur von 300 bis 400°), unter Wasser sehr rasch erhärtet und einen Stein von außerordentlicher Härte giebt. Wird der Dolomit stärker erhitzt, so daß sich in seiner Masse etwas Aetzkalk bilden kann, so verhindert letzterer sein Erhärten noch nicht, und der so gebrannte Dolomit ist also noch zu Wassermörtel tauglich. Wird der Dolomit aber so stark gebrannt, daß auch der kohlensaure Kalk seine Kohlensäure verliert, so zeigt die Masse, im Gegensatze zu gebranntem Kalk, in ganzen Stücken nur eine geringe Aufnahmefähigkeit für Wasser. Es findet aber ein sehr energisches Löschen statt, wenn der gebrannte Dolomit gepulvert wird, wobei auch eine erhebliche Temperaturerhöhung stattfindet. Wird dieses Pulver mit Wasser zu einem Brei angemacht, so hat man eine Masse, die man wie Gyps in Formen gießen kann und welche an der Luft so fest wird, daß sie durch den Nagel nicht mehr geritzt werden kann. Wegen dieses letzteren Verhaltens wurde auch von M. Glasenapp in Riga die Verwendung des gebrannten Dolomites zur Herstellung von Abgüssen anstatt des Gypses in Vorschlag gebracht[2]). Seine Versuche haben ergeben, daß bei einiger Uebung tadellose Abgüsse erzielt werden. Die Consistenz des Breies ist dabei insofern für das Gelingen der Operation von Wichtigkeit, als bei Anwendung von zu vielem Wasser ein Schwinden des Gusses während des Austrocknens eintritt, wodurch an den Theilen, die der Zusammenziehung nicht folgen können, leicht Risse entstehen. Die Güsse können auch nicht sogleich nach beendeter Wasserbindung aus der Form entfernt werden, weil sie in dem Zustande noch zu zerbrechlich sind. Erst wenn das überschüssige Wasser verdunstet ist, gelingt es, durch vorsichtiges Klopfen auf die Form, den Guß von dieser abzulösen. Setzt man dann die aus der Form gelösten Gegenstände (etwa nach 14 Tagen) der Luft aus, so erreichen sie in wenigen Tagen eine beträchtliche Härte, welche von der Oberfläche ausgehend allmälig in das Innere dringt. Beim Erhärtungsprocesse lassen sich im Wesentlichen drei Stadien unterscheiden; im ersten findet die Erstarrung der Masse durch chemische Bindung von Wasser durch den Kalk und in geringem Maße bei Magnesia statt; im zweiten Stadium, in welchem der Guß noch in der Form bleibt, geht die Erhärtung hauptsächlich durch Wasserverdunstung weiter, während sie im dritten Stadium durch Anziehung und Bindung von Kohlensäure durch das Kalkhydrat zum Abschluß gelangt. Die Magnesia bleibt als Hydrat in den Güssen oder zieht die Kohlensäure nur sehr langsam an. Bei einem etwa

---

[1]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabr. v. Ziegeln ꝛc. 1873, S. 280.

[2]) Thonind.-Ztg. 1878, S. 11. Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1878, S. 729.

zwei Jahre alten Dolomitguß war nur so viel Kohlensäure aufgenommen worden, als zur Bindung durch den Kalk erforderlich ist. Leimformen sind für Dolomitgüsse unbrauchbar, da sie bei der starken Wärmeentwickelung während der Wasseraufnahme erweichen.

Dr. Biedermann[1]) fand bei einigen mit gebranntem Dolomit hergestellten Gegenständen nach langem Aufbewahren an der Luft unter Kohlensäureaufnahme ein Zerfallen, während andere nach längerem Aufbewahren an Härte bedeutend zugenommen hatten, zumal solche, welche von Natur aus und durch absichtliche Hinzufügung noch fremde Stoffe wie Sand, Thon &c. enthielten.

Sorel[2]) machte im Jahre 1867 die Entdeckung, daß gebrannte Magnesia mit einer Auflösung von Chlormagnesium, in der Stärke von 20 bis 30° B. gemischt, sehr schnell und unter Wärmeentwickelung zu einer außerordentlich harten und festen Masse erstarrt, welche, gleich dem Portlandcemente, unter dem Einflusse von Wasser immer mehr erhärtet; er nannte diese Masse Magnesiacement und schrieb die Erhärtung derselben der Bildung von basischem Magnesiumchlorid (Magnesiumoxychlorid) zu. Die Magnesia ist in der dichten Form anzuwenden, wie man sie durch Glühen von Magnesia bei hohen Hitzegraden gewinnt, und die Masse wird um so härter, je dichter die Lösung von Chlormagnesium ist.

Nach den Untersuchungen von C. Bender[3]) enthält ein nach Sorel's Vorschrift bereiteter, 6 Monate an der Luft erhärteter Magnesiacement Kohlensäure und gab, über Schwefelsäure getrocknet, 3 Mol., beim Erhitzen auf 100° 9 Mol., beim Erhitzen auf 150 bis 180° 11 Mol. Wasser ab. Wenn man eine der gefundenen Kohlensäure äquivalente Menge Magnesia in Abzug bringt, so berechnet sich als Formel für die entstandene Verbindung:

$$MgCl_2 + 5MgO + 17H_2O.$$

Wird die Verbindung mit Wasser von gewöhnlicher Temperatur behandelt, so tritt ein Theil des Chlormagnesiums heraus und es bleibt, über Schwefelsäure getrocknet, eine Verbindung von der Formel $MgCl_2 + 9MgO + 24H_2O$.

Diese Verbindung verliert beim Erhitzen auf 100° 9 Mol., beim Erhitzen auf 150 bis 180° 14 Mol. Wasser. Durch die Einwirkung kochenden Wassers wird sämmtliches Chlormagnesium entfernt und es bleibt, über Schwefelsäure getrocknet, ein von Kohlensäure schwer zersetzbares Magnesiahydrat von der Formel $2MgO + 3H_2O$. Alle Producte, das ursprüngliche wie die mit Wasser behandelten, sind von der Widerstandsfähigkeit eines guten Sandsteines, von schön weißem Ansehen und politurfähig.

Der Magnesiacement ist ein sehr gutes Bindemittel zwischen Metallen, Metallen und Glas u. a.; er eignet sich auch sehr gut zur Befestigung der gläsernen Oelbehälter in Lampenfässern, wobei nicht zu befürchten ist, daß in Folge des Eindringens von Petroleum die Verbindung gelockert wird, ferner zur Befestigung von Messerklingen in den Schalen &c.[4]).

---

[1]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrikation v. Ziegeln &c. 1880, S. 146.
[2]) Compt. rend. 65, 102. Dingl. pol. J. 185, 292.
[3]) Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch. 1870, S. 933.
[4]) Biedermann, Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabr. v. Ziegeln &c. 1880, S. 145.

Der Magnesiacement verträgt auch einen großen Sandzusatz, eignet sich daher zur Darstellung von künstlichen Steinen; derselbe kann auch im flüssigen Zustande mit dem Pinsel aufgetragen werden zur Härtung von Mauern; mit Farben versetzt, läßt sich derselbe zur Herstellung von Mosaik, künstlichem Elfenbein, Billardkugeln 2c., wie auch, wie der gebrannte Gyps, zum Formen verwenden. Derselbe ist aber nicht wetterbeständig und seine schöne Oberfläche wird durch das Wasser der Atmosphäre zerstört.

Unter dem Namen Cajalith bringt F. A. Schmidt in Dresden Waaren (für innere Ornamente) aus Magnesiacement in den Handel, welche sich durch schöne Politur und große Härte auszeichnen.

Unter der Bezeichnung Albolith fabricirt W. Riemann[1]) in Breslau einen Magnesiacement, der aus Frankensteiner Magnesit (in Retortenöfen gebrannt), Chlormagnesium und amorpher Kieselerde besteht. Die im richtigen Verhältniß gemischte Albolithmasse, die je nach dem Zwecke der Verwendung die Consistenz eines dickeren oder dünneren Mehlbreies haben muß, gesteht je nach der Temperatur, bei welcher man arbeitet, allmälig zu einem dickeren Brei, der in der Regel schon nach 6 Stunden hart ist. Nachdem die Masse so hart geworden ist, daß sie noch Eindrücke mit dem Nagel annimmt, erfolgt eine Entwickelung von Wärme, die nach der Größe und Stärke des darzustellenden Objectes verschieden ist, aber bis über 100° gehen kann. Dieses ist für die Anwendung von Leimformen zur Darstellung größerer Ornamente ein mißlicher Uebelstand. Bei kleinen Objecten ist die Erwärmung kaum wahrnehmbar. Unter Wasser ist Albolith nicht verwendbar, da derselbe unter diesen Verhältnissen seinen Zusammenhang verliert.

Ueber Verwendung des Magnesiacementes zu Kunststeinen s. künstliche Steine.

---

[1]) Dingl. pol. J. 195, 92.

III.

Gyps.

1. Vorkommen.

Der Gyps, wasserhaltiges Calciumsulfat, findet sich in der Natur theils krystallisirt, theils krystallinisch, körnig, faserig und erdig; man unterscheidet daher von demselben folgende Varietäten:

1. Gypsspath; sehr großkörnige Aggregate von meist linsenförmigen Individuen, welche zum Theil fußlang und noch länger sind; ist der Gypsspath krystallinisch großblätterig und läßt er sich in große, dünne, ganz durchsichtige Blättchen spalten, so nennt man ihn Marienglas oder Fraueneis.

2. Fasergyps (Federweiß); erscheint grob- bis feinfaserig, gerad- oder krummfaserig, aber stets parallelfaserig; er ist weiß in allen Nüancen, auch grau, gelb, roth bis braun, seideglänzend und mehr oder weniger durchscheinend; bei sehr lebhaftem Seidenglanz heißt er Atlasgyps.

Diese Varietät erscheint nur in der Form von plattenförmigen Lagen oder Trümmern in anderen Gypsvarietäten oder noch häufiger in Thon, Schieferletten und Thonmergel.

3. Körniger Gyps (Alabaster); klein- und feinkörnig, oft lockerkörnig wie Zucker, schneeweiß, graulichweiß, gelblich- oder röthlichweiß; selten lichtgelb oder roth; oft aber mit Bitumen imprägnirt und dadurch rauchgrau, braun bis schwärzlich gefärbt, welche Färbung gewöhnlich in Flecken, Wolken, Flammen, Adern und Streifen hervortritt; glänzend oder schimmernd von Perlmutterglanz, durchscheinend.

4. Dichter Gyps (Gypsstein); höchst feinkörnig bis dicht, schneeweiß, graulich-bläulich-röthlichweiß bis röthlichgrau und fleischroth, auch gelblichweiß bis isabellgelb und durch Beimengung von Bitumen rauchgrau und graulichschwarz (Stinkgyps); ist oft auch mit Thon gemengt; Bruch eben oder uneben im Großen und splitterig im Kleinen, matt und kantendurchscheinend.

Im körnigen und im dichten Gypse kommen bisweilen accessorische Bestand-
)eile vor, wie: Glimmer, Talk, Quarz, Steinsalz, Eisenkies ꝛc.

5. Gypserde; ist ein aus staubartigen oder feinerdigen Theilen bestehender
veißer Gyps, welcher in Begleitung anderer Gypsvarietäten, gewöhnlich als die
bere Lage derselben, nahe an der Erdoberfläche oder unmittelbar unter der
)ammerde vorkommt.

Außerdem kommt das Calciumsulfat noch wasserfrei in der Natur vor
nd heißt dann Anhydrit; derselbe tritt aber in beschränkterem Maße auf und
t von keiner technischen Bedeutung.

Wie der Gyps ein steter Begleiter des Steinsalzes ist, welches er in Ge-
ieinschaft mit Anhydrit und Thon über- und oft auch unterlagert, so sind
rieder Thon-, Mergel- und Dolomitablagerungen fast stets im Gefolge des Gypses
u finden. In der Regel bilden alsdann zunächst um einen Gypsstock herum die
bwechselnd ockergelb und braunroth gefärbten Thon- und Mergellagen eine, häufig
on Gypsspath- und Fasergypsadern durchzogene, mehr oder minder mächtige
tinde, welche von einer, oft mächtig entwickelten, meist stark zerklüfteten
)olomit- oder Rauhkalkdecke umschlossen wird, so daß der Gyps mit seinen Be-
leitern einer gewaltigen Nuß gleicht, deren Kern aus dem Gypsstock selbst ge-
ildet wird, während der Mergel die innere und der Dolomit die äußere Rinde
m diesen Kern herum bilden[1]).

Im Gebiete der Urschieferformation ist der Gyps eine seltene Er-
heinung, ist aber dennoch in einigen Gegenden der Alpen ganz entschieden darin
achgewiesen worden, so z. B. am Mocher Berge, nördlich von Winklern in
tärnthen und in der Umgebung des St. Gotthards; auch im Gebiete der
.ebergangsformation ist Gyps nur in wenigen Ländern gefunden worden;
agegen tritt der Gyps im nördlichen Rußland, Neuschottland als ein wesentliches
ölied der Steinkohlenformation auf.

Häufiger findet sich der Gyps in den oberen Gliedern der Zechstein-
ruppe und bildet hier den sogenannten Zechstein- oder Schlottengyps.
einkörniger bis dichter weißer Gyps oder Alabaster ist hier das wesentliche und
t vorherrschende Gestein; oft ist er aber auch mit Bitumen so innig imprägnirt
nd gemengt, daß er entweder eine gleichmäßig graue Farbe oder eine sehr ver-
hiedenartige Farbenzeichnung von Grau oder Hellbraun im weißen Grunde zeigt.
ier und da erscheint auch großkörniger, zum Theil prächtig krystallisirter und
rahliger Gyps; der reine weiße als Fraueneis ausgebildete Gyps bildet oft
roße Nester und Drusen, oft von vielen Ellen im Durchmesser. Der Zechstein-
)ps ist gewöhnlich sehr undeutlich oder gar nicht geschichtet, aber vielfältig zer-
üftet, zerrissen, ausgenagt, oft Höhlen und Schlotten bildend. Die größeren
ypsstöcke umschließen nicht selten in ihrem Inneren feinkörnigen Anhydrit, aus
ssen allmäliger Umwandlung der Gyps hervorgegangen ist.

Besonders mächtig und ausgedehnt erscheint der Zechsteingyps bei
ßolferode und Wimmelburg, Helbra ꝛc.; ganze Berge bildend erscheint er in einem
chs Meilen langen Zuge von Osterode bis Obersdorf bei Sangerhausen und

[1]) Senft, Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabr. v. Ziegeln ꝛc. 1878, S. 236.

III.

Gyps.

1. Vorkommen.

Der Gyps, wasserhaltiges Calciumsulfat, findet sich in der Natur theils krystallisirt, theils krystallinisch, körnig, faserig und erdig; man unterscheidet daher von demselben folgende Varietäten:

1. Gypsspath; sehr großkörnige Aggregate von meist linsenförmigen Individuen, welche zum Theil fußlang und noch länger sind; ist der Gypsspath krystallinisch großblätterig und läßt er sich in große, dünne, ganz durchsichtige Blättchen spalten, so nennt man ihn Marienglas oder Fraueneis.

2. Fasergyps (Federweiß); erscheint grob- bis feinfaserig, gerad- oder krummfaserig, aber stets parallelfaserig; er ist weiß in allen Nüancen, auch grau, gelb, roth bis braun, seideglänzend und mehr oder weniger durchscheinend; bei sehr lebhaftem Seidenglanz heißt er Atlasgyps.

Diese Varietät erscheint nur in der Form von plattenförmigen Lagen oder Trümmern in anderen Gypsvarietäten oder noch häufiger in Thon, Schieferletten und Thonmergel.

3. Körniger Gyps (Alabaster); klein- und feinkörnig, oft lockerkörnig wie Zucker, schneeweiß, graulichweiß, gelblich- oder röthlichweiß; selten lichtgelb oder roth; oft aber mit Bitumen imprägnirt und dadurch rauchgrau, braun bis schwärzlich gefärbt, welche Färbung gewöhnlich in Flecken, Wolken, Flammen, Adern und Streifen hervortritt; glänzend oder schimmernd von Perlmutterglanz, durchscheinend.

4. Dichter Gyps (Gypsstein); höchst feinkörnig bis dicht, schneeweiß, graulich-bläulich-röthlichweiß bis röthlichgrau und fleischroth, auch gelblichweiß bis isabellgelb und durch Beimengung von Bitumen rauchgrau und graulichschwarz (Stinkgyps); ist oft auch mit Thon gemengt; Bruch eben oder uneben im Großen und splitterig im Kleinen, matt und kantendurchscheinend.

Im körnigen und im dichten Gypse kommen bisweilen accessorische Bestandtheile vor, wie: Glimmer, Talk, Quarz, Steinsalz, Eisenkies ꝛc.

5. Gypserde; ist ein aus staubartigen oder feinerdigen Theilen bestehender weißer Gyps, welcher in Begleitung anderer Gypsvarietäten, gewöhnlich als die obere Lage derselben, nahe an der Erdoberfläche oder unmittelbar unter der Dammerde vorkommt.

Außerdem kommt das Calciumsulfat noch wasserfrei in der Natur vor und heißt dann Anhydrit; derselbe tritt aber in beschränkterem Maße auf und ist von keiner technischen Bedeutung.

Wie der Gyps ein steter Begleiter des Steinsalzes ist, welches er in Gemeinschaft mit Anhydrit und Thon über- und oft auch unterlagert, so sind wieder Thon-, Mergel- und Dolomitablagerungen fast stets im Gefolge des Gypses zu finden. In der Regel bilden alsdann zunächst um einen Gypsstock herum die abwechselnd ockergelb und braunroth gefärbten Thon- und Mergellagen eine, häufig von Gypsspath- und Fasergypsadern durchzogene, mehr oder minder mächtige Rinde, welche von einer, oft mächtig entwickelten, meist stark zerklüfteten Dolomit- oder Rauhkalkdecke umschlossen wird, so daß der Gyps mit seinen Begleitern einer gewaltigen Nuß gleicht, deren Kern aus dem Gypsstock selbst gebildet wird, während der Mergel die innere und der Dolomit die äußere Rinde um diesen Kern herum bilden[1]).

Im Gebiete der Urschieferformation ist der Gyps eine seltene Erscheinung, ist aber dennoch in einigen Gegenden der Alpen ganz entschieden darin nachgewiesen worden, so z. B. am Mocher Berge, nördlich von Winklern in Kärnthen und in der Umgebung des St. Gotthards; auch im Gebiete der Uebergangsformation ist Gyps nur in wenigen Ländern gefunden worden; dagegen tritt der Gyps im nördlichen Rußland, Neuschottland als ein wesentliches Glied der Steinkohlenformation auf.

Häufiger findet sich der Gyps in den oberen Gliedern der Zechsteingruppe und bildet hier den sogenannten Zechstein- oder Schlottengyps. Feinkörniger bis dichter weißer Gyps oder Alabaster ist hier das wesentliche und oft vorherrschende Gestein; oft ist er aber auch mit Bitumen so innig imprägnirt und gemengt, daß er entweder eine gleichmäßig graue Farbe oder eine sehr verschiedenartige Farbenzeichnung von Grau oder Hellbraun im weißen Grunde zeigt. Hier und da erscheint auch großkörniger, zum Theil prächtig krystallisirter und strahliger Gyps; der reine weiße als Fraueneis ausgebildete Gyps bildet oft große Nester und Drusen, oft von vielen Ellen im Durchmesser. Der Zechsteingyps ist gewöhnlich sehr undeutlich oder gar nicht geschichtet, aber vielfältig zerklüftet, zerrissen, ausgenagt, oft Höhlen und Schlotten bildend. Die größeren Gypsstöcke umschließen nicht selten in ihrem Inneren feinkörnigen Anhydrit, aus dessen allmäliger Umwandlung der Gyps hervorgegangen ist.

Besonders mächtig und ausgedehnt erscheint der Zechsteingyps bei Wolferode und Wimmelburg, Helbra ꝛc.; ganze Berge bildend erscheint er in einem sechs Meilen langen Zuge von Osterode bis Obersdorf bei Sangerhausen und

---

[1]) Senft, Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabr. v. Ziegeln ꝛc. 1878, S. 236.

bildet in diesem Zuge den Katzenstein bei Osterode, den Sachsenstein bei Walkenried, den Kohnstein bei Ilfeld.

Die bedeutenderen Ablagerungen des Zechsteingypses umschließen oftmals Höhlen, die sogenannten Schlotten, welche in ihrer Form, Größe und Verbindung sehr verschieden und höchst wahrscheinlich durch allmälige Auswaschung entstanden sind. Sie pflegen bis auf eine gewisse Höhe mit Wasser erfüllt zu sein, stehen nicht selten in gegenseitigem Zusammenhang und bilden dann wohl große Züge, die sich bisweilen stundenweit erstrecken. Einer der schönsten Schlottenzüge findet sich bei Wimmelburg; große domartige Gewölbe wechseln mit engen Schlünden von bizarren Formen und schlauchartige Canäle steigen zuweilen von der Kuppel der Gewölbe, bis zu 20 m hoch, wie Schornsteine aufwärts; viele der in Thüringen und Mansfeld bekannten Erdfälle verdanken ihre Entstehung dem Einsturze solcher Schlottengewölbe.

In der Trias der Alpen tritt der Gyps häufig in Stöcken auf. Der Gyps der Buntsandsteinformation bildet theils als körniger, schuppiger und dichter Gyps Stöcke und Klötze, theils bildet er als Fasergyps dünne Lagen, Trümmer und Adern, welche die bunten Thone und Mergel nach verschiedenen Richtungen durchziehen; bisweilen breiten sich die Gypsstöcke auch zu ausgedehnten und sich weit fortsetzenden Flötzen aus. Weit sich fortsetzende und mächtige Ablagerungen bildet der Gyps zwischen dem Sandsteine und den bunten Mergeln, so z. B. bei Jena, wo er am Hausberge gegen 60 m mächtig ist, ferner im Unstrutthale an mehreren Orten, wo er bei Hainrode 30 m mächtig und über eine Meile weit ununterbrochen zu verfolgen ist, dann im Fürstenthum Waldeck x. Der Gyps der Muschelkalkformation ist häufig durch Bitumen dunkelfarbig gestreift, gebändert, geadert oder gewolkt und immer mit Thon und oftmals mit Anhydrit vergesellschaftet. Der Muschelkalkformation gehört der Gyps von Lüneburg und Segeberg an; ferner gehören hierher die Gypslager im Hollthale bei Hindelang, an der Fallmühle bei Pfronten, bei Reute und Berchtesgaden (Bayern). In der Keuperformation erscheint der Gyps zuvörderst als Fasergyps, in welcher Form er den bunten Mergeln theils in zahllosen Lagen eingeschichtet, theils in Trümmern und Adern eingeflochten ist, so daß er oft förmliche Netzwerke bildet, deren Maschen von buntem Mergel und Thon ausgefüllt werden; dann kommen aber auch häufig Nester, Klötze, Stöcke und mächtige Lager von massivem oder wellenförmig geschichtetem körnigem und dichtem Gyps vor, welcher bisweilen in tieferen Gruben Anhydrit einschließt. Diese Keupergypse sind vorwaltend röthlichweiß oder roth, aber auch grau und graulichweiß.

Im Lias und im Jura finden sich Gypsablagerungen nur selten; in den Thonen und Mergeln der Kreideformation kommen bisweilen Krystalle, Anflüge oder kleine Nester von Gyps vor. Dagegen bildet der Gyps einen Hauptbestandtheil der Tertiärformation und tritt namentlich als dichter Gyps in der Gruppe des Grobkalkes auf und heißt Süßwassergyps. Letzterer tritt zuweilen in bedeutenden Lagen, mit kalkigen und thonigen Mergeln abwechselnd, auf und zeigt bald mehr oder weniger weiße, häufig grauweiße, auch gelbliche Farbe. Eine ziemlich ausgedehnte Ablagerung findet sich bei Paris bei Montmartre, welche namentlich durch das Auftreten thierischer Ueberreste ausgezeichnet

ist; dieser Gyps ist von kalkigen Süßwasserschichten überlagert. In Deutschland findet sich Süßwassergyps namentlich in der Mark Brandenburg bei dem Orte Scharenberg, südlich von Berlin, in Schleswig-Holstein, in Hassel bei Kassel &c.

Neuere Untersuchungen lassen vermuthen, daß der Gyps in vielen Fällen nur als ein Umwandlungsproduct des Anhydrits anzusehen ist, indem letzterer im Laufe der Zeit Wasser aufnahm und dadurch allmälig in Gyps überging; auch können Gypsbildungen dadurch stattgefunden haben, daß der aus dem Erdinneren (in vulcanischen Gegenden) sich entwickelnde Schwefelwasserstoff zerlegt und dabei Schwefelsäure gebildet wurde, welche dann die kalkhaltigen Silicate oder den Kalkstein zersetzte und mit der Kalkerde zu Gyps zusammentrat[1].

Der Gyps findet sich auch sehr häufig in den natürlichen Wässern; derselbe macht dieselben hart und scheidet sich beim Verdampfen des Wassers als Kesselstein oder Pfannenstein aus.

Auch in Pflanzen ist krystallisirter Gyps nachgewiesen worden, namentlich in einigen Baumrinden, so in der an Saponin reichen Rinde von Quillaja Saponaria, der Quillajarinde.

Künstlich kann Gyps dargestellt werden durch Fällen einer Lösung von Chlorcalcium mit mäßig verdünnter Schwefelsäure, wobei er sich krystallinisch ausscheidet; in diesem Zustande enthält er, wie der natürliche Gyps, 2 Mol. Wasser.

2. Eigenschaften des Gypses.

Gyps ist wasserhaltiges Calciumsulfat (schwefelsaures Calcium) und besteht nach der Formel $CaSO_4 + 2H_2O$ in 100 Thln. aus:

Kalk (CaO)	32,56
Schwefelsäure (SO_3)	46,51
Wasser	20,93
	100,00

Der Anhydrit = wasserfreies Calciumsulfat enthält in 100 Thln.:

Kalk	41,18
Schwefelsäure	58,82
	100,00

Das specifische Gewicht des Gypses ist 2,33 und das des Anhydrits 2,96.

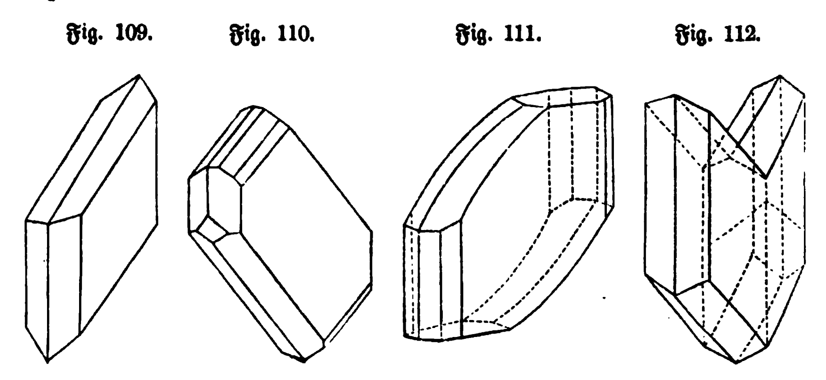
Der Gyps krystallisirt monoklin, der Anhydrit rhombisch.

Die gewöhnlichste Krystallform des Gypses ist ein sechsseitiges Prisma mit zwei gegenüber liegenden breiten Seitenflächen, an den Enden zugeschärft, die Zu-

[1]) Dr. Carl Naumann, Lehrbuch der Geognosie. Leipzig 1858.

schärfungsflächen gegen die breiten Seitenflächen gerichtet und die Zuschärfungskante die Achse des Prismas unter einem schiefen Winkel schneidend, wie es die Figuren 109, 110 und 111 zeigen. Häufig sind Zwillinge (Schwalbenschwänze) Fig. 112.

Fig. 109. Fig. 110. Fig. 111. Fig. 112.



Der Gyps ist in Wasser schwer löslich; über den Grad seiner Löslichkeit stimmen die Angaben nicht überein. Nach Poggiale lösen 100 Thle. Wasser:

bei	0°	0,205	Thle.	Gyps	bei	50°	0,251	Thle.	Gyps
"	5°	0,219	"	"	"	60°	0,248	"	"
"	12°	0,273	"	"	"	70°	0,244	"	"
"	20°	0,241	"	"	"	80°	0,239	"	"
"	30°	0,249	"	"	"	90°	0,231	"	"
"	35°	0,254	"	"	"	100°	0,217	"	"
"	40°	0,252	"	"					

Danach wäre die Löslichkeit des Gypses am größten bei + 35°, bei welcher Temperatur 1 Thl. Gyps sich in 393 Thln. Wasser löst, und nimmt von da mit steigender Temperatur mehr und mehr ab.

Nach Buchholz ist die Löslichkeit von Gyps in Wasser 1:461 und hat die Temperatur wenig Einfluß; nach Giese wie 1:380 in kaltem und 1:388 in kochendem Wasser; nach Lassaigne 1:332 bei allen Temperaturen; nach Bischof wie 1:460 und nach Anthon 1:438. Nach Tipp löst sich Gyps bei 15 bis 20° in dem 388fachen Gewicht Wasser, Anhydrit bei derselben Temperatur in dem 492fachen Gewichte Wasser [1]).

A. H. Church [2]) fand, daß 1 Thl. Gyps

445 Thle. Wasser von 14° C.

und

420 " " " 20,5° C.

erfordert. Kohlensäure vermindert die Löslichkeit etwas.

---

[1]) Tipp, Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie 1854, S. 325.
[2]) Church, Deutsche Industrie-Ztg. 1868, S. 9.

Versuche von J. H. Dröze ergaben nachstehende Löslichkeit [1]):

	Gyps ($CaSO_4 + 2H_2O$)	$CaSO_4$
5,5° C.	1:412	1:520,8
13,5° "	1:401	1:507,3
19,5° "	1:372	1:470
24° "	1:366	1:463
36° "	1:359	1:454

C. Marignac [2]), welcher eingehende Untersuchungen über die Löslichkeit des Calciumsulfats und die Uebersättigung der Lösungen desselben angestellt, erhielt nachstehende Zahlenwerthe, welche die zur Auflösung von 1 Thl. wasserfreiem Calciumsulfat bei den verschiedenen Temperaturen erforderlichen Wassermengen ausdrücken:

0°	525	41°	468
18°	488	53°	474
24°	479	72°	495
32°	470	86°	528
38°	466	99°	571

Danach ist das wasserfreie Calciumsulfat am reichlichsten zwischen 32 und 41° löslich.

Nach A. Cossa lösen 1000 Thle. Wasser bei 16,5° 2,19 Thle. und bei 22° 2,352 Thle. reinen Gyps [3]).

Wenn man Gyps, welcher bei 120 bis 130° bis zum constanten Gewichte erhitzt wurde, mit dem 50fachen Gewichte Wasser schüttelt und die gebildete Lösung nach 10 Minuten abfiltrirt, so schießen in kurzer Zeit Gypskrystalle in derselben an, ein Beweis, daß das Wasser von dem erhitzten Gyps eine größere Menge als vom krystallisirten aufzulösen vermag. Specielle Versuche haben ergeben, daß in 82 Thln. der zuerst gebildeten Lösung 1 Thl. wasserfreies Calciumsulfat enthalten ist. 10 Minuten später, nachdem schon Gypskrystalle entstanden waren, enthielten 170 Thle., nach 2 Tagen 391, nach 14 Tagen 495 Thle. abfiltrirter Lösung 1 Thl. wasserfreies Calciumsulfat. Die Temperatur der Lösungen lag zwischen 20 und 22°. E. Erlenmeyer [4]).

Leichter als in reinem Wasser löst sich Gyps in verdünnter Salzsäure und Salpetersäure, und in Lösungen von Salmiak [5]) und anderen Ammoniumsalzen [6]), sehr leicht in einer Lösung von unterschwefligsaurem Natrium.

Die Löslichkeit des Gypses in einer Lösung von unterschwefligsaurem Natrium, welche über zehnmal größer als die Löslichkeit des Gypses in reinem Wasser, gründet sich auf die große Neigung des letzteren, mit anderen unter-

[1]) Dröze, Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch. 1877, S. 330.
[2]) Jahresber. über die Fortschritte der Chemie 1873, S. 44.
[3]) Ebend. 1873, S. 253.
[4]) Chem. Centralbl. 1873, S. 707.
[5]) Vogel, Journ. prakt. Chem. 1, 196.
[6]) Dingl. pol. J. 157, 465.

schwefligsauren Salzen in Wasser leicht lösliche Doppelsalze zu bilden; es entsteht unterschwefligsaures Calcium und Natriumsulfat; das entstandene Kalksalz löst sich darauf in dem überschüssigen unterschwefligsauren Natrium zu einem Doppelsalze. Versetzt man die Lösung mit Alkohol, so wird sämmtlicher Kalk als solches Doppelsalz in Gestalt einer schweren, öligen, zu weißen nadelförmigen Krystallen erstarrenden Flüssigkeit abgeschieden, gemengt mit dem in Alkohol unlöslichen überschüssigen unterschwefligsauren Natrium (Diehl[1]).

J. H. Dröze[2]) fand bei Versuchen über die Löslichkeit von Gyps in Salzlösungen, daß die Chloride und Nitrate der Alkalien und Chlormagnesium die Löslichkeit des Gypses erhöhen, eine gesättigte mehr als eine verdünnte, die Nitrate mehr als die Chloride. Der Unterschied zwischen Kalium- und Natriumsalz ist gering, die Ammoniumsalze weichen davon ab:

Gesättigte Lösungen	Chlorkalium	1 g	Gyps	löslich	in	162	ccm	bei	8°
	Chlornatrium . . .	1 „	„	„	„	147	„	„	8,5°
	Chlorammonium .	1 „	„	„	„	93	„	„	12,5°
Gesättigte Lösungen	Kaliumnitrat . . .	1 „	„	„	„	94	„		
	Natriumnitrat . .	1 „	„	„	„	92	„		
	Ammoniumnitrat.	1 „	„	„	„	320	„		
1/4,5 gesättigte Lösung	Ammoniumnitrat	1 „	„	„	„	54	„		

Die Sulfate der Alkalien und der Magnesia haben einen anderen und zwar meist geringeren Einfluß als die Chloride und Nitrate. Gesättigte Lösungen: von Kaliumsulfat lösen bei 13,5° viel weniger Gyps als Wasser, nur etwa 1 g in 2000 ccm, von Magnesiumsulfat lösen keinen Gyps bei 14,5°, von Natriumsulfat lösen bei 10° eben so viel als Wasser, von Ammoniumsulfat lösen bei 9° nur wenig mehr als Wasser und eine 0,1 gesättigte Lösung ist noch weniger verschieden von Wasser (Dröze).

Nach Faßbender löst sich 1 Thl. Gyps bei 15,5° in 82 Thln., bei 20° in 69 Thln. einer gesättigten Salpeterlösung.

Trägt man in siedendes Schwefelsäurehydrat Calciumsulfat ein, so lösen etwa 100 Thle. Säure 10 Thle. davon; verdampft man diese Lösung, so scheidet sich wieder neutrales Salz in glänzenden Körnern ab. Läßt man die heiße Lösung aber erkalten, so erstarrt sie zu einer Masse von flachen seideglänzenden Prismen, welche sich bei der Analyse als $CaH_6(SO_4)_4$ erwiesen (C. Schultz[3]).

Nach H. Struve[4]) lösen 100 Thle. concentrirte Schwefelsäure 2,03 Thle. und 100 Thle. Nordhäuser Schwefelsäure 10,17 Thle. Calciumsulfat.

Von G. Burkhardt wurde die Löslichkeit des Gypses in Alkohol von verschiedener Stärke bestimmt. Die Resultate seiner Versuche enthält die nachstehende Zusammenstellung[5]):

---

[1]) Journ. prakt. Chem. 79, 430. Chem. Centralbl. 1861, S. 270.
[2]) Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch. 1877, S. 330.
[3]) Chem. Centralbl. 1868, S. 602.
[4]) Fresenius, Zeitschr. f. analytische Chemie 9, 34.
[5]) Wagner's Jahresber. d. chem. Technologie 1878, S. 727.

In 100 ccm der Lösungen waren enthalten:

bei Wasser allein	. . . .	0,2128 g	Calciumsulfat
„ Alkohol von 10 Volumprocenten	. .	0,0828 „	„
„ „ „ 20 „	. .	0,0328 „	„
„ „ „ 30 „	. .	0,0120 „	„
„ „ „ 40 „	. .	0,0048 „	„
„ „ „ 50 „	. .	0,0028 „	„
„ „ „ 60 „	. .	0,0012 „	„
„ „ „ 70 „	. .	0,0008 „	„
„ „ „ 80 „	. .	0,0004 „	„

In starkem Weingeist ist daher der Gyps nicht löslich; aus diesem Grunde trübt sich gypshaltiges Brunnenwasser auf Zusatz von Weingeist durch ausgeschiedenen Gyps.

Nach E. Asselin[1]) lösen 100 Thle. Glycerin von 1,114 spec. Gew. 0,957 Thle. Gyps auf; bei Erhöhung der Temperatur nimmt die Lösungskraft des Glycerins zu.

Auch in Zuckerlösungen ist das Calciumsulfat löslicher als in reinem Wasser, und zwar bei längerem Contacte und mit zunehmender Temperatur und Concentration der Zuckerlösung in steigender Menge. Durch anhaltendes Kochen eines gypshaltigen Zuckersyrups wird der gelöste Gyps theilweise wieder ausgeschieden (E. Sostmann[2]).

Beim Erhitzen verliert der Gyps sein Wasser. Die Temperatur, bei welcher der natürliche Gyps sein Wasser abgiebt, wird sehr verschieden, d. h. in sehr unbestimmten Grenzen angegeben, was wohl hauptsächlich darin liegt, daß die verschiedenen Autoren nicht die wirkliche Temperatur des Gypses, sondern die des umgebenden Mediums beobachteten. Zeidler hat diesen Fehler bei seinen Versuchen vermieden[3]). Derselbe fand zunächst, daß bei Bestimmungen der Temperatur zum Austreiben des Wassers von großem Einflusse ist, ob man den Gyps in einem Luftstrome oder in stehender Luft erhitzt; so verlor reines Marienglas im Luftstrome bei 110 bis 120° C. über 20 Proc., ohne Durchleiten von Luft bei 150° C. erst 15,6 Proc. Wasser. Im Luftstrome von mäßiger Geschwindigkeit beginnt die Wasserentwickelung bei 90 bis 96°, wobei der Gyps 15,5 Proc. Wasser verliert; bei dieser Temperatur von 96° tritt ein Stillstand in der Wasserabgabe ein, so daß während weiterer Erhitzung $2\frac{1}{2}$ Stunden lang keine Gewichtsabnahme mehr erfolgte, auch nicht bei 100°, welcher Temperatur der Gyps eine volle Stunde lang ausgesetzt wurde. Bei 105° begann die Abgabe von Wasser aufs Neue und endete erst mit 170° vollständig. In dem Temperaturintervall von 105 bis 130° ging die Wasserabscheidung ziemlich gleichmäßig, aber so langsam, daß von 10 zu 10° immer mehrere Stunden, 2 bis 6, Zeit erforderlich waren. Zwischen 130 und 150° hörte sie wieder vollkommen auf, stellte

---

1) Jahresber. über die Fortschritte der Chemie 1873, S. 1063.
2) Ebend. 1867, S. 935.
3) Dingl. pol. J. 180, 471. Wagner's Jahresber. d. chem. Technologie 1866, S. 346.

sich aber mit 150° abermals ein und in demselben gleichmäßigen und langsamen Gange, bis mit 170° die vollständige Entwässerung erreicht war.

Ganz wie der natürliche, verhielt sich auch künstliches aus Chlorcalciumlösung dargestelltes Calciumsulfat und entwässerter und wieder angemachter Gyps: auch bei diesen war bei 90° der Wasserverlust 15,5 Proc. = $^3/_4$ des gesammten Wassergehaltes, während der Rest des Wassers, wie beim frischen Gyps, zur Austreibung einer bis 170° gesteigerten Temperatur bedurfte.

Die Beobachtungen Zeidler's sind mit denen von Millon[1]) insofern übereinstimmend, als letzterer ebenfalls fand, daß bei der Wasserabgabe des Gypses ein scharfer Abschnitt stattfindet, in der Art, daß ein bestimmter und zwar der größere Antheil des Wassers jederzeit bei einer weit niederen Temperatur weggeht als der Rest; dagegen will Millon beobachtet haben, daß der Beginn der Wasserabgabe schon bei 80 bis 85° liegt, und daß das letzte $^1/_4$ des Wassergehaltes erst bei 200 bis 300° vollständig ausgetrieben wird. Plessy[2]) fand die vollständige Entwässerung bei 110 bis 115°. Nach Graham soll der Gyps im luftverdünnten Raume über Vitriolöl und zwar bei 100° nur 8,1 Proc. Wasser abgeben.

J. W. Gunning giebt an, daß künstlich durch Fällen von Chlorcalcium mit verdünnter Schwefelsäure und Waschen mit schwachem Alkohol dargestellter Gyps auch schon im Dampfbade (also noch unter 100°) sein Krystallwasser vollständig verliert, wenn auch nur langsam, z. B. 1 g frühestens in 40 Stunden[3]).

Dr. Senft[4]) macht darauf aufmerksam, daß Gyps, wenn er längere Zeit an einem ganz trockenen, gegen Feuchtigkeit geschützten, recht sonnigen Orte lagert, allmälig mehrere Procente seines Wassers verliert, dadurch härter und anhydritartig wird und dann nicht mehr zum Brennen taugt. Legt man dann einen solchen Gyps in Wasser, so dauert es lange, ehe er wieder so viel Wasser aufgenommen hat, daß man ihn wieder als Gyps behandeln kann. Diese Erscheinung sei um so bemerkenswerther, weil sie auch in Gypsbrüchen vorkommt, welche sich an der Sonnenseite von Bergen befinden und von zahlreichen senkrecht niedersetzenden Klüften durchzogen sind. In diesem Falle erscheinen in der Regel die in der nächsten Umgebung der Klüfte vorhandenen Gypsmassen mehr oder weniger anhydrisirt und darum zum Brennen untauglich.

Der durch Erhitzung entwässerte Gyps wird gebrannter Gyps oder Sparkalk (auch wohl Gypskalk) genannt. Durch das Erhitzen wird der Gyps undurchsichtig, wenn er vorher durchsichtig war, und sehr zerreiblich und locker, wenn er vorher Festigkeit und Härte besaß. Erhitzt man Gyps schnell mit einem starken Feuer, so verliert derselbe sein Krystallwasser unter starkem Knistern.

Erhitzt man gepulverten Gyps mit Wasser in zugeschmolzenen Röhren auf 140 bis 160°, so erhält man ein wasserärmeres Salz, $2CaSO_4, H_2O$, als Krystallpulver oder in seideglänzenden Fasern, das sich in der Kälte wieder in

[1]) Annal. de chim. et de phys. (3) **19**, 222.
[2]) Compt. rend. **24**, 658.
[3]) Chem. Centralblatt 1871, 148.
[4]) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrikation von Ziegeln ꝛc. 1878, S. 236.

Gyps verwandelt. Ersetzt man bei diesem Versuche das Wasser durch eine gesättigte Lösung von Kochsalz, so gehen die Gypskrystalle bei 125 bis 130° in eine porcellanartige, milchweiße, aus verfilzten Krystallen bestehende Masse von Anhydrit über, aus welcher sich in der Kälte Gyps regenerirt. In höherer Temperatur entzieht demnach Kochsalzlösung dem Gyps, bei gewöhnlicher Temperatur aber Anhydrit der Kochsalzlösung Wasser. Hoppe-Seyler[1]).

In der Rothglühhitze schmilzt der entwässerte Gyps ohne Zersetzung und nimmt beim Erstarren die krystallinische Structur des Anhydrits an. Beim Glühen in Wasserstoffgas, oder mit Kohle, oder mit Kohle hinterlassenden organischen Substanzen wird der Gyps in Schwefelcalcium verwandelt. Auch in wässeriger Lösung erfolgt die Bildung von Schwefelcalcium sehr leicht durch organische Stoffe. Da zugleich Kohlensäure entsteht, welche zersetzend auf das Schwefelcalcium einwirkt, so kommt Schwefelwasserstoff in die Lösung. Mineralwässer, welche Gyps enthalten, können beim Lagern auf Flaschen den Geruch nach Schwefelwasserstoff annehmen, wenn die Wässer organische Substanz enthalten, oder wenn beim Füllen der Flaschen organische Substanzen, z. B. ein Stückchen Stroh, in die Flaschen kam[2]).

Wird der entwässerte und gepulverte Gyps mit Wasser zu einem Brei angerührt, so erstarrt derselbe unter Wiederaufnahme der durch Erhitzen ausgetriebenen 2 Mol. Krystallwasser mehr oder weniger rasch zu einer festen Masse; hierbei tritt in Folge der chemischen Bindung von Wasser eine mäßige Temperaturerhöhung und eine Volumvergrößerung, ungefähr 1 Proc., ein. Diese letztere Eigenschaft ist es, welche den gebrannten Gyps zur vollkommenen Ausfüllung auch der feinsten Züge einer Form fähig macht. Das darauf folgende Trocknen, Verdunsten des überschüssig aufgesogenen Wassers, bewirkt dann, daß ein solcher Guß trocken wird und seine völlige, übrigens nicht sehr große Härte erhält.

Wie der natürliche Gyps verhält sich auch künstlich erzeugtes Calciumsulfat und auch bereits erhärteter Gyps, wenn man ihm das Wasser wieder durch Erhitzen entzieht, so daß man alte Gypsgüsse immer wieder benutzen kann.

Wird gelöschter und erhärteter Gyps zerrieben und von Neuem mit einem gleichen Volumen Wasser angerührt, so gesteht er nach kurzer Zeit wieder, zeigt aber eine geringere Härte als zuvor. Auf dieselbe Weise kann man ihn noch zum dritten, vierten, ja sogar fünften Male behandeln, und zwar um so öfter, je besser der Gyps ist.

Auf die Erhärtungsfähigkeit des Gypses hat die Temperatur, bis zu welcher derselbe erhitzt wird, einen großen Einfluß. Nach Zeidler[3]) erhärtet der bei 90° mit 15,5 Proc. Gewichtsverlust entwässerte Gyps mit Wasser vollkommen; auch noch, nachdem er einer Temperatur von 185 und 200° ausgesetzt und vollständig entwässert war, nur daß er dann das Wasser weniger schnell bindet. Wurde der Gyps aber einer Temperatur von 210° ausgesetzt, so erfolgt die Er-

---

1) Jahresber. über die Fortschritte der Chemie 1866, S. 164.
2) Gmelin, Handbuch der anorganischen Chemie, V. Aufl., 1, 637.
3) Dingl. pol. J. 180, 471.

härtung unvollkommen unter Bildung einer bröckeligen, schlecht zusammenhängenden Masse und nach der Erhitzung auf 220 bis 225° bleibt die Erhärtung ganz aus.

Die Erstarrung des Gypsbreies tritt daher um so schneller ein, je niedriger die Temperatur beim Entwässern ist, wenn der Gyps demnach noch 1/4 Theil seines Wassers enthält. Den zu stark gebrannten Gyps (über 204° nach Zeidler) bezeichnet man als todtgebrannt. Graham giebt die Temperatur des Todtbrennens nahe übereinstimmend zu 204°, Mitscherlich dagegen entschieden irrig zu 160° an.

Man hielt früher den als todtgebrannt bezeichneten Gyps für indifferent gegen Wasser und nahm an, daß derselbe in Folge einer Sinterung die Fähigkeit verloren habe, Wasser aufzunehmen und zu erhärten. Michaëlis[1]) hat schon darauf hingewiesen, daß ein eigentliches Todtbrennen gar nicht stattfindet. Bei dem zu stark erhitzten Gyps ist nur die Wasseraufnahme bedeutend verzögert, aber es kommt nach langer Zeit, oft erst nach Jahren, dennoch eine oft recht bedeutende Erhärtung zu Stande.

Auch Friedr. Schott, der das Verhalten des mehr oder weniger stark erhitzten Gypses und Anhydrits zum Wasser untersuchte[2]), kam zu denselben Resultaten. Nach Schott ist das, was man bisher „todtgebrannten" Gyps nannte, nur scheintodter Gyps, der nach einiger Zeit zu neuem Leben erwacht. Eine auf die Dauer gegen Wasser indifferente Modification des Gypses existirt nicht. Beim Erhitzen des Gypses über den Punkt hinaus, bei welchem er sein Wasser abgiebt, beginnt eine Sinterung desselben; in Folge der Sinterung nimmt er eine größere Dichte und damit einen Zustand an, in welchem der Gyps als Pulver weniger Raum einnimmt, in einen gegebenen Raum sich dichter und weniger sperrig einlegt als ungeglühter Gyps. Hand in Hand mit dieser vollkommeneren Raumerfüllung geht eine zunehmende Trägheit in der Aufnahme des Hydratwassers. Beide Erscheinungen steigern sich mit wachsender Temperatur beim Glühen, bis der Gyps bei 400 bis 500° in eine hydraulische Modification übergeht.

Die hydraulische Modification des Gypses bindet das Wasser in geringerer Menge, ungleich langsamer, erst im Verlaufe von Wochen, sehr stetig, unter ungleich stärkerer Erhärtung, während das Erhärtungsproduct größere Dichte, größere Schwere als gewöhnlicher Gypsguß und anderes mehr alabasterartiges Ansehen annimmt. Nach dem Erhärten verhält sich der hydraulische Gyps nach dem Entwässern bei 150° wie gewöhnlicher Gyps.

Nach Schott verliert der Gyps bei 170 bis 200° sein Wasser vollständig; die Temperatur, bei welcher der Gyps aufhört, mit Wasser rasch zu erstarren, liegt gegen 300°.

Vom schwefelsauren Kalk kann man demnach fünf nach einander folgende Zustände unterscheiden:

---

1) Notizbl. d. deutschen Vereins f. Fabrikation von Ziegeln etc. 1871, S. 332.

2) Dingl. pol. J. 202, 355. Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1872, S. 421.

1) krystallisirter wasserhaltiger Gyps (wie der natürliche) mit 20,93 Proc. Hydratwasser;
2) dreiviertel entwässert (wie der Gyps der Bildgießer) mit 4,27 Proc. Hydratwasser; mit Wasser rasch erstarrend;
3) völlig, aber bei höchstens 200° entwässert; mit Wasser ebenfalls rasch erstarrend;
4) Anhydrit, das Wasser langsam erst nach längerer Zeit aufnehmend, aber nicht hydraulisch;
5) bei 400 bis 500°, bezw. Rothgluth, gebrannter Gyps oder Anhydrit, das Wasser ebenfalls langsam aufnehmend, aber hydraulisch erhärtend.

Dieser stark und bei hoher Temperatur gebrannte Gyps ist ein sehr brauchbares Baumaterial, welches eine große Festigkeit annimmt und auch in feuchten Lagen als guter hydraulischer Mörtel gebraucht werden kann; von der Anwendung im Wasser ist er aber wegen der Löslichkeit auszuschließen. Er eignet sich aber auch zu Stuck, zur Herstellung kleiner Utensilien ꝛc.

Von Gay-Lussac wurde die Beobachtung gemacht, daß die relative Härte des gebrannten und gegossenen Gypses im geraden Verhältnisse zu der Härte des Gypses vor dem Brennen stehe. Die dichten Gypssteine geben demnach wieder harten und dichten Gypsguß, während die leichten und weichen Steine auch nur einen weichen Guß liefern.

Das Erhärten ist nach Kerl größtentheils dadurch bedingt, daß sich beim Anmachen des Gypses mit Wasser außer dem Hydrat von Calciumsulfat gleichzeitig eine gesättigte wässerige Lösung des letzteren bildet. Dieselbe wird von dem anfangs porösen Material aufgesogen und beim Trocknen scheiden sich nach allen Seiten hin aus der Lösung Krystalle ab, die sich an den einzelnen Gypstheilchen festsetzen und dieselben fest mit einander verbinden. Verwendet man an Stelle des Wassers 80 proc. Spiritus, dem der Gyps gleichfalls Wasser entzieht und dabei in Hydrat übergeht, in welchem er aber unlöslich ist, so findet keine Erhärtung statt. Fügt man jedoch zu dem Spiritus 1/4 Wasser, so gewinnt die Masse nachträglich noch Zusammenhang [1]).

Nach H. Le Chatelier [2]) beruht die Erhärtung des Gypses gleichfalls auf Uebersättigungserscheinungen. Gyps verliert beim Erhitzen auf 150° nur 1,5 Mol. Krystallwasser und enthält dann somit nur noch 0,5 Mol. In diesem Zustande ist er besonders geneigt, übersättigte Lösungen zu bilden, aus denen sich sogleich Gypskrystalle absetzen. Wird demnach gebrannter Gyps mit Wasser angerührt, so lösen sich die einzelnen Theile auf, bilden übersättigte Lösungen, aus denen sich sofort Krystalle von $CaSO_4 . 2H_2O$ abscheiden. So lange noch entwässertes Calciumsulfat vorhanden ist, dauert diese Lösung und Krystallisation fort, bis schließlich das Ganze zu einer festen Krystallmasse erstarrt ist (s. S. 365).

Wird ungebrannter und gepulverter Gyps, welcher mit Wasser nicht erhärtet, mit wässerigen Lösungen von Aetzkali und verschiedener Kaliumsalze

[1]) Muspratt's theoretische ꝛc. Chemie; bearbeitet von Kerl und Stohmann, 3, 1514.

[2]) Compt. rend. 96, 717 u. 1668. Wagner's Jahresb. d. chem. Techn. 1883, S. 652.

(kohlensaurem, schwefelsaurem, kieselsaurem Kalium und weinsaurem Kalinatron, nicht chlorsaurem oder salpetersaurem Kalium und nicht Natronsalzen) zusammengebracht, so erhält man sogleich harte Massen. Die Erhärtung erfolgt schneller, als mit gebranntem Gyps und reinem Wasser. Eine solche erhärtete Masse gepulvert und mit einer frischen Lösung obiger Kaliumsalze gemengt, erhärtet von Neuem (Emmet[1]).

Auch Schott d. Aelt. fand bei seinen Versuchen über das Verhalten von Kaliumsulfat auf Gyps[2]), daß, wenn man ungebrannten gepulverten Gyps zu gleichen Theilen mit neutralem Kaliumsulfat zusammenreibt und das Gemisch mit Wasser zu einem Brei umrührt, die Masse rascher erstarrt, als Gyps bei gewöhnlicher Behandlung; gleiche Theile beider Salze entsprechen gleichen Aequivalenten; gepulverter wasserhaltiger Gyps erstarrt aber auch noch mit $^1/_{10}$ Aeq. Kaliumsulfat, aber langsamer.

Ungemein beschleunigend wirkt das Kaliumsulfat auf gebrannten Gyps. Gleiche Aequivalente zusammengerieben erstarren mit weit weniger als dem gleichen Gewicht Wasser augenblicklich, so daß die Mischung nicht ausgegossen werden kann.

Gebrannter Gyps mit kalt gesättigter Lösung von Kaliumsulfat angemacht, erstarrt augenblicklich und ist nicht ausgießbar, wenn die Lösung weniger als etwa das doppelte Gewicht des Gypses beträgt; wendet man eine kochend gesättigte Lösung von Kaliumsulfat an, so tritt die Erstarrung so plötzlich ein, daß man kaum im Stande ist, die Mischung zu bewerkstelligen.

Solche Gypsgüsse sind nicht wesentlich härter, als gewöhnliche mit Wasser dargestellte, aber sie besitzen nicht das kreidige Ansehen, sondern sie erscheinen perlmutterartig und atlasglänzend.

Gmelin hatte schon vermuthet, daß das Kali- und Kalksalz zu einer neuen Verbindung zusammentreten.

Schott hat diese Verbindung rein dargestellt; er setzte zu einer kalt gesättigten Lösung von Kaliumsulfat so viel fein geriebenes Marienglas, daß die Mischung eine dünne Milch bildete. Nachdem er einige Male umgeschüttelt, wurde rasch abfiltrirt; das klare Filtrat schied alsbald zarte, locker gruppirte, atlasglänzende Nadeln aus, die nach dem Auswaschen und Trocknen hart waren, und die Zusammensetzung $CaSO_4 . K_2SO_4 . H_2O$ hatten.

Mit Natriumsulfat verhielt sich der Gyps indifferent. Dagegen verhielt sich der Weinstein gegen Gyps ebenso wie das Kaliumsulfat; gegen ungebrannten Gyps ist er allerdings unwirksam, dagegen bringt eine Lösung des Weinsteins den gebrannten Gyps rasch zum Erstarren. Die Gypsabgüsse mit Weinstein haben kein anderes Ansehen als gewöhnliche; sie sind nichts als Gemenge von Weinstein- und Gypskrystallen.

---

1) Dingl. pol. J. **49**, 447

2) Ebend. **196**, 357.

3. Brennen des Gypses.

Der Gyps findet meistens im entwässerten Zustande Anwendung. Das Brennen des Gypses bezweckt nur die Austreibung des Wassers aus dem in der Natur vorkommenden wasserhaltigen Calciumsulfat bei geeigneter Temperatur. Wenn nun auch das Gypsbrennen und Kalkbrennen insofern einander gleichen, als bei beiden Processen ein Bestandtheil durch Erhitzen entfernt wird, so liegt doch ein wesentlicher Unterschied darin, daß zum Austreiben der Kohlensäure aus dem Calciumcarbonat lebhafte Glühhitze erforderlich ist, während zum Austreiben des Wassers aus dem Gypse eine weit niedrigere Temperatur genügt.

Bereits S. 369 ist erwähnt worden, daß das Erstarren des gebrannten Gypses um so schneller erfolgt, bei je geringerer Temperatur derselbe entwässert wird. So erstarrt der bei 100° entwässerte Gyps, wo er noch ungefähr 5 Proc. Wasser enthält, schneller, als wenn der Gyps bis auf 180 oder 200° erhitzt wurde, wobei er vollständig entwässert ist. Erhöht man dann die Temperatur bis über 204°, so sintert der Gyps und vereinigt sich mit Wasser nur sehr langsam und ist dann für viele Zwecke unbrauchbar. Da nun für manche Zwecke ein rascheres, für andere dagegen ein langsameres Erstarren des Gypsbreies erwünscht ist, so ist daher beim Brennen des Gypses darauf Rücksicht zu nehmen.

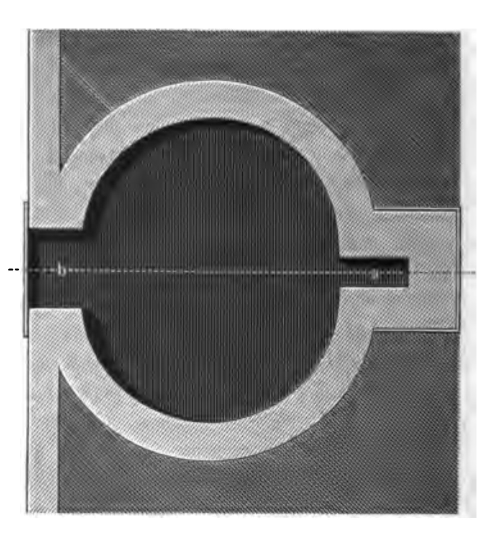
Je nach der Bestimmung des gebrannten Gypses und je nachdem man denselben in Massen oder nur in kleineren Mengen zu verarbeiten hat, sowie nach der Qualität des zu Gebote stehenden Brennmaterials, verfährt man beim Brennen des Gypses auf verschiedene Weise. Dasselbe sollte immer so ausgeführt werden, daß der Gyps in der ganzen Masse hindurch gleichmäßig auf die nothwendige Temperatur erhitzt wird, um ein gleichartiges Product zu erzielen und nicht ein Gemenge von schlecht gebranntem mit gar- oder todtgebranntem Gypse. Hierbei ist auch zu berücksichtigen, daß, in je größeren Stücken der Gyps gebrannt wird, um so länger die Einwirkung im Feuer dauern muß, bevor die inneren Theile gargebrannt werden können. Auch muß man es vermeiden, die Gypssteine mit dem Brennmaterial in unmittelbare Berührung zu bringen, weil der Gyps in Berührung mit Kohle in der Glühhitze zersetzt wird und in Schwefelcalcium übergeht.

Gyps zu künstlerischen Zwecken, wie z. B. für Figuren 2c., brennt man zuweilen im feingepulverten Zustande in Metallkesseln (von Kupfer oder Eisen) oder auf Eisenblechen. Hierbei läßt sich auch das Entweichen des Wassers besser erkennen und danach die Heizung reguliren. Sobald das Gypsmehl beim Erhitzen in Kesseln 2c. die Temperatur erreicht hat, bei der das Wasser entweicht, zeigen sich ähnliche Erscheinungen wie beim Erhitzen von Flüssigkeiten, es beginnt nämlich aufzuwallen, förmlich zu kochen; es bilden sich zahlreiche kleine kegelförmige Krater, aus denen der Dampf unter Stäuben des Mehles hervorbricht und die beim Umrühren stets wieder von Neuem entstehen. Nach einiger Zeit

werden die Krater spärlicher, das Aufwallen nimmt ab, zuletzt zeigt es sich nur noch nach dem Umrühren und hört endlich ganz auf. Wenn das Aufwallen vorüber ist, ist der Gyps gar gebrannt; es wird dann die Heizung unterbrochen und die Temperatur des Gypspulvers gleichzeitig dadurch erniedrigt, daß man es tüchtig umarbeitet oder aus dem Kessel oder von dem Bleche bringt. In diesem Zeitpunkte, wo das Aufwallen des Gypsmehles aufhört, hat dasselbe jedoch noch nicht seinen ganzen Wassergehalt verloren, sondern enthält immer noch etwa ¹/₄ desselben, jenen Rest, der nicht unter Aufwallen, sondern langsam bei höherer Erhitzung weggeht.

In Anstalten, wo viel Gyps zu Formen ꝛc. verbraucht wird, wie in Fabriken von Thonwaaren ꝛc., hat man auch eigene Brennöfen mit einer flachen geräumigen


Fig. 113.



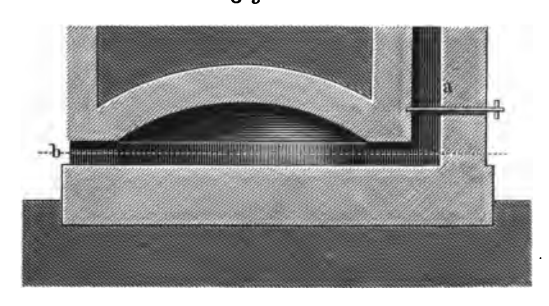
Eisenplatte zur Aufnahme des Gypsmehles, welches man etwa drei Finger hoch ausbreitet. Der Raum oberhalb der Platte ist flach überwölbt; eine Oeffnung in der Vorderwand, mit einer hölzernen Verstellthür verschließbar, dient zum Eintragen und Ausnehmen des Gypses; eine zweite Oeffnung am Scheitel des Gewölbes dient zur Ableitung des Wasserdampfes. Unterhalb der Platte befindet sich eine Feuerung von verhältnißmäßig geringem Umfange, deren Züge sich möglichst unter der Fläche der Platte ausbreiten. Eine Holzkrücke dient zum Umrühren und Ausziehen des Gypses. Als Anhalt zur Beurtheilung der Beendigung des Erhitzens dienen die oben angegebenen Erscheinungen des Aufkochens[1].

Da der entwässerte Gyps sich leichter pulvern läßt, als der nicht entwässerte, weil er mürbe ist, so geschieht das Entwässern des Gypses für den angegebenen Zweck auch wohl in Oefen, welche den gewöhnlichen Backöfen gleichen: Fig. 113

[1]) Knapp, Lehrbuch der chem. Technologie, III. Aufl., 1, II. Abth., 718.

und 114. Der mit einer Esse *a* versehene Ofen wird in dem Canal *b* mit Holz befeuert bis zur beginnenden Rothgluth, dann wird das Feuer entfernt, der Ofen von Kohlen und Asche gereinigt, der bis zur Wallnußgröße zerkleinerte Gyps auf die Ofensohle gelegt und Heizöffnung (dessen Thür oben eine kleine Oeffnung hat) und Esse gut verschlossen. Man betrachtet den Gyps als gar, wenn eine herausgenommene Probe in der Mitte eines Stückes in der weißen Masse nur noch einige krystallinische Punkte von nicht entwässertem Gyps zeigt. Ein Todtbrennen ist bei diesen Oefen nicht zu befürchten, man kann aber nur Holz als Brennmaterial anwenden und das Anfeuern des Ofens erfordert viel Zeitaufwand und viel Brennmaterial. Besser ist es jedenfalls, in diesen Oefen den feinen

Fig. 114.



Gyps im gepulverten Zustande zu brennen, weil dann die Wärme gleichmäßiger wirken kann.

Violette[1]) hat zum Brennen des Gypses überhitzten Wasserdampf vorgeschlagen; der von ihm construirte Apparat ist von ähnlicher Einrichtung, wie er ihn auch zur Verkohlung des Holzes verwendete. Wenn sich auch dadurch ein gleicher Hitzegrad erzielen läßt, so steht der allgemeinen Anwendung des Verfahrens die Kostspieligkeit des Apparates, häufige Störungen durch Reparatur, erhöhter Brennstoffaufwand ꝛc. entgegen. Nach Violette's Versuchen sind sechs Stunden nöthig, um einen für die Bildgießerei brauchbaren Gyps zu erhalten und 1 cbm = 1300 kg Gyps bedarf 520 kg Dampf.

Der Ofen zum Brennen des Gypses von Minich[2]) besteht aus einem eisenblechernen Cylinder, innerhalb dessen eine archimedische Schraube angebracht ist, welche mit dem Cylinder fest verbunden ist, so daß beide Theile sich gemeinschaftlich drehen. An der Vorderseite des Ofens befindet sich ein Trichter, in welchen der zu brennende, vorher in kleine Stücke zertheilte Gyps eingefüllt wird und von welchem er in den von außen erhitzten Cylinder gelangt. Der gebrannte Gyps fällt, nachdem er in Folge der Drehung des Apparates während des Brennens bis zum hinteren Ende des Cylinders gelangt ist, heraus. Aehnlich construirt sind auch die Cylinderöfen von Covlet[3]) und Pschow[4]).

---

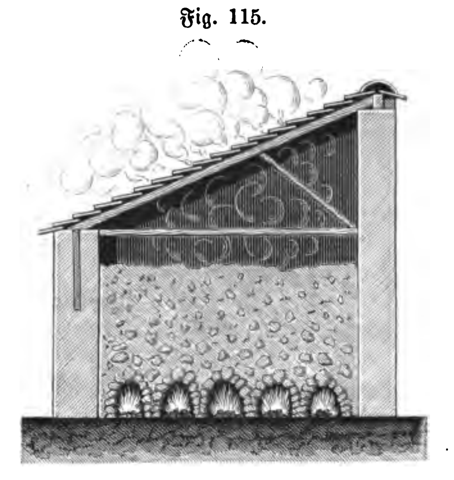
1) Dingler's pol. J. **112**, 360.
2) Polyt. Centralblatt 1852, S. 1336.
3) Genie ind. Mars. 1859, p. 129.
4) Wagner's Handbuch der chem. Technologie **2**, 528.

Triquet und Guyant[1]) benutzen die aus den Kalköfen entweichende Hitze zum Brennen des Gypses. Die hierzu angewendeten Einrichtungen sind zweierlei Art. Dieselben bestehen entweder in einem einzigen Raume, der oben auf dem Kalkofen angebracht ist und die aus dem letzteren sich entwickelnde Wärme aufnimmt, oder aus einem langen geneigten Canal, in welchem eine Reihe gußeiserner Cylinder angebracht ist, welche den zu brennenden Gyps aufnehmen. Die erstere Einrichtung dient zum Brennen des Gypses in großen Stücken, die letztere für Gyps in kleinen Stücken oder in Mehlform.

Das Brennen des ordinären Gypses für Mörtel, Estriche ꝛc. geschieht wohl selten mehr in Meilern oder in Haufen, indem man die größten Stücke Gypssteine zu einer Feuergasse zusammenstellt, die kleineren aber daneben oder darüber schüttet und mit Holz feuert.

Viel häufiger werden hierzu die Gypsöfen angewendet, in welchen der Gyps immer in Stücken gebrannt wird, weil das Brennen großer Mengen in Pulverform nicht ausführbar ist und weil der gebrannte Gyps in Stücken sich an der Luft besser hält. Die einfachsten bestehen aus einem von vier Mauern eingeschlossenen Raume, der etwa doppelt so lang als breit, oben nicht überwölbt und in einer gewissen Höhe mit einem leichten Schutzdache versehen ist. Ueber der Sohle des Raumes befinden sich an einer Längsseite oder an beiden Längsseiten in der Mauer Schüröffnungen, von denen ab Feuergassen aus den Gypssteinen gebildet werden. Fig. 115 zeigt den Durchschnitt eines solchen einfachen Ofens. Zweckmäßiger ist es, den Ofen zu überwölben, natürlich mit ausgesparten Zugöffnungen zum Reguliren des Feuers, in welchem Falle dann eine seitliche Thür zum Einsetzen des Gypses vorhanden sein muß. Man verwendet auch derartige Oefen, bei welchen auf der Sohle des Ofens vertieft liegende Rostfeuerungen mit Aschenfall angebracht sind, über welche dann die Feuergewölbe gebildet werden.

Fig. 115.



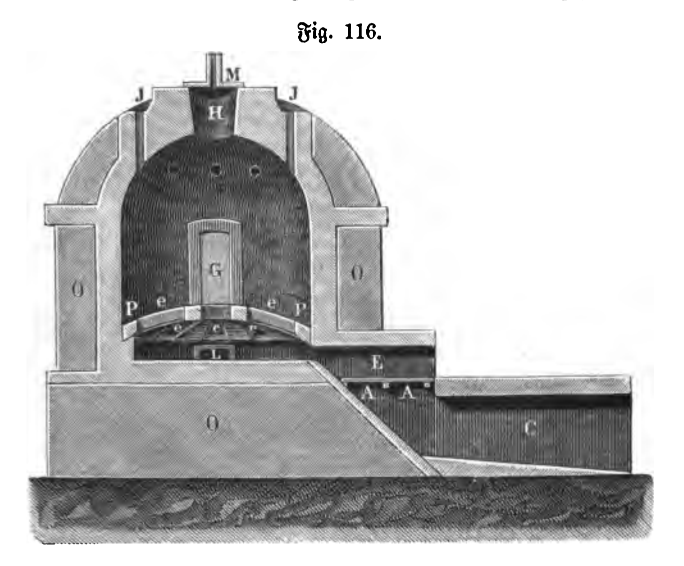
Auch Schachtöfen, welche von ähnlicher Construction sind wie die gewöhnlichen Kalköfen mit langer Flamme, sind an manchen Orten zum Gypsbrennen in Anwendung. Dagegen eignen sich die Oefen mit kleiner Flamme hierzu nicht, weil die Temperatur in denselben zu hoch werden muß, soll das Heizmaterial vollständig verbrennen, und weil der Gyps mit dem Brennmaterial

[1]) Dingl. pol. J. 125, 42.

unmittelbarer Berührung ist, daher oberflächlich zu Schwefelcalcium reducirt wird; ıch würde hierbei der gebrannte Gyps durch Beimengung von Asche verunreinigt. ber selbst bei der sorgsamsten Leitung des Feuers in den Schachtöfen mit langer lamme ist es nicht zu vermeiden, daß die dem Feuer zunächst liegenden Gyps- :ine zu stark erhitzt und an der Oberfläche gesintert oder ganz geschmolzen sind; an muß daher dieselben ausschießen oder das Pulver derselben nur in mäßiger Renge dem Pulver der gut gebrannten Steine zumischen.

Vortheilhafter ist der Gypsbrennofen von Scanegatty[1]) mit seitlichem :oste für Steinkohlenfeuerung (Fig. 116). Derselbe gestattet eine gute

Fig. 116.



'eitung der Temperatur, und vermeidet ein Ueberhitzen des Gypses, weil das Heizen weniger durch die Flamme, als durch heiße Feuerluft geschieht. *A* ist der Rost, *C* der Aschenfall und regulirbare Zugcanal, *E* die Feuerung. Ein flaches urchbrochenes Gewölbe *P* mit den Zügen *e* bildet die Feuerkammer. Das Loch *L*, ıit einer Thür verschließbar, dient zur Reinigung des unter dem Gewölbe *P* be- indlichen Feuerraumes und zur Entfernung des Gypses, der allenfalls durch die 'öcher des Gewölbes gefallen ist; *G* die Oeffnung, durch welche man den Gyps inbringt, *H* eine Oeffnung, bei der die Füllung des Ofens gänzlich vollbracht oird und die mit der Platte und dem darauf gesetzten Schornstein *M* bedeckt ist; ur Regulirung des Zuges und zur richtigen Vertheilung der Hitze dienen die am Gewölbe des Ofens angebrachten Zugöffnungen *II*. Die Buchstaben *O O* be- eichnen die Dicke der Wände.

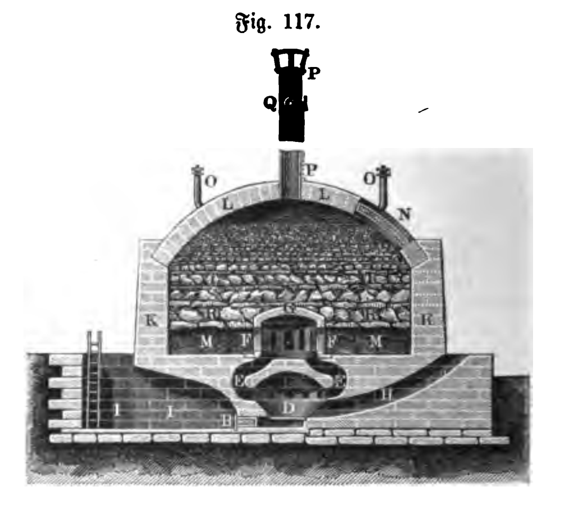
Um diesen Ofen zu füllen, legt man durch die Oeffnung *G* so viele rohe Gypsblöcke auf das durchbrochene Gewölbe *P* auf, als man kann und verschließt

[1]) Dingl. pol. J. 67, 193.

dann die Oeffnung mit Backsteinen und Thon, oder mit Erde, der etwas Gyps beigemengt worden ist. Die gänzliche Füllung wird durch *H* bewerkstelligt. Man zündet dann auf dem Herde ein Feuer an und feuert so lange, als die bei den Registern *I* entweichenden Gase eine daran gehaltene kalte Glasplatte noch befeuchten. Hierauf verschließt man alle Oeffnungen des Ofens und läßt 15 Stunden abkühlen. Dieser Ofen faßt bei etwa 10 Cubikmeter Inhalt 7 Cubikmeter Gypssteine.

Von ähnlicher Construction ist der Gypsbrennofen von Dumesnil[1]), der in Fig. 117 im senkrechten Durchschnitte und in Fig. 118 im Grundriß in der Ebene der Sohle dargestellt ist; bei diesem ist die Feuerung (mit Holz und zwar mit Reisig) ebenfalls total getrennt von dem Raume, in dem der Gyps gebrannt wird, nur befindet sich der Feuerungsraum unterhalb der Ofensohle. *D* ist die

Fig. 117.



Feuerung mit Rost und dem Aschenfall *B*; durch den Canal *H* werden die Reisigbündel zur Unterhaltung des Feuers eingeschoben. Aus der Feuerung treten die heißen Gase durch zwölf gekrümmte Füchse *E, E*... in die Feuerkammer (Glocke) *G* und aus dieser durch ebenso viele Oeffnungen *F* in die strahlenförmigen Feuergassen *M, M*..., von wo sie durch die Gypsschichten *RR*, *SS*, *TT*... aufsteigend, unter das Ofengewölbe *L, L* nach den Seitenkaminen *O O* und dem Mittelkamin *P, P* mit der Klappe *Q* gelangen. — Eine Thür *V* in der etwas geneigten Umfassungsmauer *K, K* des Ofens dient zum Eintragen der regelmäßigen Schichten, ein zweiter Zugang *N* im Gewölbe zum Eintragen des Gypskleins. *I, I* ist eine Vertiefung, die zum Aschenfall bei *B* führt. Ein ähnlicher Zugang statt der langen und engen Röhre *IH* zum Schüren des Feuers ist offenbar zweckmäßiger.

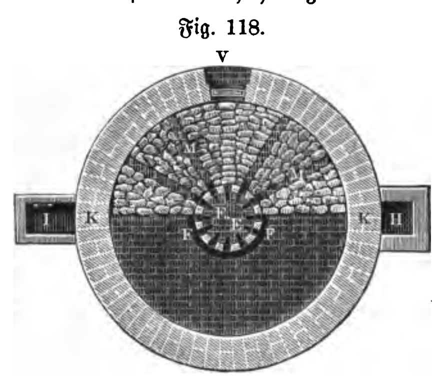
Um eine gleichförmige Vertheilung der Wärme zu erhalten, beginnt man damit, eine erste Schicht aus großen Steinen von etwa 40 cm Breite, 30 cm

---

1) Dingl. pol. J. 141, 93 u. 175, 206.

Höhe und 20 cm Dicke, auf die hohe Kante gestellt, in geraden Linien von dem Umfange der Glocke nach demjenigen des Ofenmantels, auf der Sohle aufzusetzen, indem man einen Zwischenraum von 5 cm zwischen jeder Reihe läßt, so daß Canäle entstehen, welche in der Fortsetzung der Oeffnungen *F* und der Canäle *E* liegen. In der Querrichtung von zwei Reihen der ersten Schicht stellt man andere Stücke als zweite Schicht auf, und zwar eine Reihe mit geringer Neigung von der Peripherie nach der Mitte des Ofens und die folgende Reihe in umgekehrter Richtung. Ueber der zweiten Schicht beginnt man eine dritte ꝛc. und in etwa 20 cm Höhe über der Glocke beendigt man das Eintragen des Gypses durch die Thür *V*, welche man durch eine außerhalb mit einer Ziegelbackung versehene gußeiserne Platte verschließt; durch die Oeffnung *N* wird dann die Beschickung des Ofens fortgesetzt, wobei man darauf sieht, daß nach oben zu immer kleinere Stücke für die Schichten genommen werden. Ist die Charge eines Ofens vollendet, so verschließt man die Oeffnung *N* durch eine Thür von starkem Eisenblech und entzündet das Reisig auf dem Herde; während der ersten vier Stunden unterhält man ein sehr mäßiges Feuer, nach und nach verstärkt man dasselbe aber; nach Verlauf von 12 Stunden läßt man das Feuer ausgehen, verschließt alle Oeffnungen und breitet auf der letzten Gypsschichte 5 bis 6 cbm grobes Gypspulver aus, wodurch der Zug möglichst verzögert und durch die vorhandene Hitze zugleich dieses nachträglich eingebrachte grobe Gypspulver noch gebrannt wird. Nach einer zwölfstündigen Abkühlung wird der gebrannte Gyps durch die Oeffnung *V* entleert.

Fig. 118.



Der Ofen faßt, bei 6 Meter Durchmesser und 4 Meter Höhe unter dem Gewölbscheitel, 35 Cubikmeter Gypssteine, welche mit 225 bis 200 Reisigbündeln = 1960 bis 1600 kg, gar gebrannt werden, so daß im Durchschnitt auf 1 cbm etwa 50 kg Holz kommen. Nach Beobachtungen mit leichtflüssigen Metallen und Legirungen beträgt die Temperatur in der mittleren Region des Ofens etwa 360°, in der oberen und unteren 250° C. [1]).

Auf einigen Gypswerken, wie z. B. auf der Schwarzehütte bei Osterode ꝛc., wird der Gyps geringer Qualität zu Estrichen, Dünger in einem Ringofen gebrannt [2]).

In neuerer Zeit kommen auch Oefen in Anwendung für Massenproduction, bei welchen der Gyps nicht mit der Flamme in Berührung kommt, wodurch jedenfalls ein gleichmäßiger gebranntes Product erzielt wird.

---

[1]) Knapp's Lehrbuch der chem. Technologie, III. Aufl., 1, II. Abth., 721.

[2]) Notizbl. d. deutschen Vereins für Fabrik. von Ziegeln ꝛc. 1867, S. 85; 1869, S. 51 u. 1881, S. 37.

Der von L. Rambohr construirte Gypsbrennofen mit continuirlichem Betriebe[1]), Fig. 119 bis 122, entspricht allen Anforderungen, welche in Bezug auf die Erlangung einer möglichst gleichmäßigen Temperatur bei geringstem Brennmaterialverbrauch und wenigen Arbeitskräften gestellt werden

Fig. 119. Fig. 120.

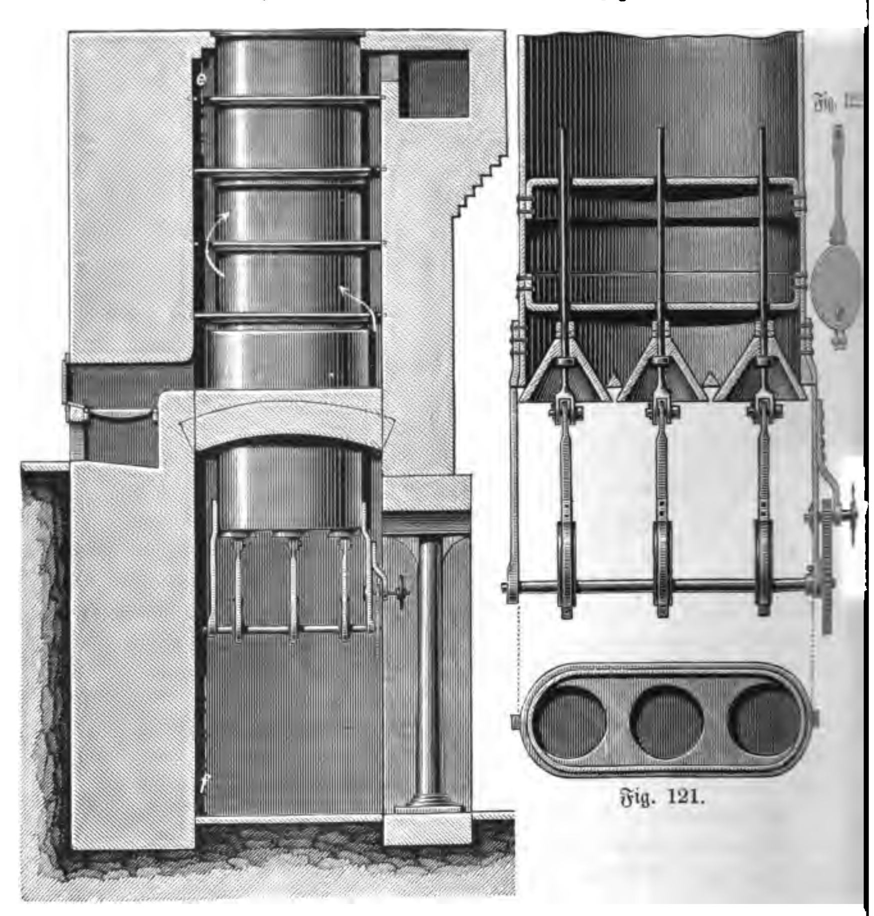


Fig. 121.

können; er bietet ferner den Vortheil dar, daß der Gyps ganz allmälig immer mehr erwärmt wird, indem er dem Feuerherde successive näher rückt, und daß er, nachdem er die Garbrandregion des Ofens passirt hat, unterhalb derselben Gelegenheit findet, sich abzukühlen, bevor er als fertiges Product abgezogen wird.

---

[1]) Dingl. pol. J. 215, 332. Wagner's Jahresb. d. chem. Technologie 1875, S. 757. Notizbl. d. deutschen Vereins für Fabrik. von Ziegeln &c. 1875, S. 139.

Der Ofen bildet ein System von beliebig vielen stehenden, oben offenen Retorten aus Gußeisen. Der Retortenquerschnitt ist oblong, durchgehends 960 mm lang, am oberen Ende 320, am unteren aber nur 230 mm breit. Die Höhe der Retorte, die aus einzelnen Theilen besteht, welche durch Muffen mit einander verbunden und in diesen Muffen mit einem Kitt aus Thon, Eisenbohrspänen und Salmiak gedichtet sind, beträgt im Ganzen 3,5 m; davon sind die oberen 2,5 m der Einwirkung des Feuers ausgesetzt, während der untere Theil von 1,0 m Höhe zur Abkühlung des fertig gebrannten Gypses und zur Aufnahme des Entleerungsmechanismus dient. Die Wandstärke der Retorte beträgt an der Garbrandstelle 18 mm und nimmt nach oben bis auf 10 mm ab. Der Kühlraum unterhalb der Feuerung hat durchgehends nur 10 mm Wanddicke.

Die Breite der Retorte verjüngt sich, wie schon angegeben, nach dem unteren Theile derselben, wo das Garbrennen erfolgt, bis auf 230 mm, so daß an dieser Stelle die zu erwärmende Gypsschicht, von der Mitte aus gerechnet, nur circa 115 mm dick ist. Die Verwendung von Gußeisen hat bei der geringen Hitze, welche zum Entwässern des Gypses erforderlich ist, um so weniger ein Bedenken, als ja sonst die Entwässerung auch in Metallkesseln vorgenommen wird.

Zur Entleerung des gar gebrannten Gypses dienen am unteren Ende jeder Retorte drei kegelförmige Ventile, welche durch einen einfachen Mechanismus geöffnet und geschlossen werden können. An einer durch ein kleines Rädervorgelege drehbaren Welle sitzen nämlich drei excentrische Scheiben, welche das Heben und Senken der in der Retorte selbst gerade geführten Kegelventile bewirken. Zwischen den drei kreisrunden Entleerungsöffnungen liegen Stege, die nach oben zugeschärft sind und dadurch die Gypsstückchen den Entleerungsöffnungen zuführen.

Die Feuerung ist so eingerichtet, daß die Garbrandstelle die erste Hitze erhält und die Temperatur der Retorte nach oben hin, wo das Aufgeben des rohen, in kleine Stücke zerschlagenen Gypses erfolgt, allmälig abnimmt. Der der Feuerung zunächst liegende Theil der Retorte ist auf 0,5 m Höhe mit einem beiläufig 40 mm starken Chamottemantel umkleidet, damit eine zu starke Erhitzung, welche an dieser Stelle vielleicht vorkommen könnte, verhütet werde. Die Größe der Rostflächen ist in der Zeichnung für erdige Braunkohle geringster Qualität angenommen. Die Bewegung der Feuergase in den Zügen, sowie die Anordnung der letzteren selbst ergiebt sich ohne Weiteres aus den Abbildungen.

Bei diesem Ofensystem läßt sich eine beliebige Anzahl von Retorten in einem Ofen vereinigen, und wenn die Zuführung des ungebrannten und die Abführung des gebrannten Gypses auf kleinen Schienenbahnen bewerkstelligt wird, so genügt zur vollständigen Bedienung eines Ofens von 7 bis 9 Retorten ein einziger Arbeiter, welcher das Nachfüllen und das Entleeren der Retorten, sowie die Feuerung zu besorgen hat.

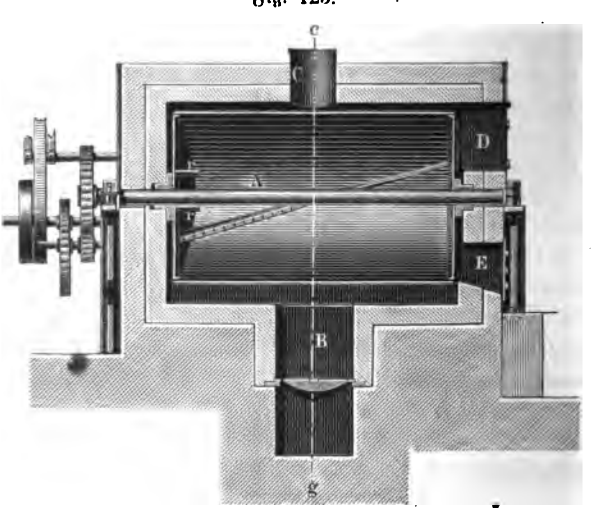
Die Leistungsfähigkeit betreffend, so wird der gesammte Inhalt einer Retorte (etwa 6 Hektoliter) in 24 Stunden mindestens sechsmal gar gebrannt; es liefert also jede Retorte täglich mindestens 36 Hektoliter gebrannten Gyps.

Der Verbrauch an Brennmaterial berechnet sich bei einer Rostfläche von 500 × 250 mm = 0,125 Quadratmeter auf ca. 4 Hektoliter, resp. 560 bis

600 kg erdige Braunkohle geringer Qualität oder bei einem entsprechend kleineren Roste auf etwa 200 kg Steinkohle pro Retorte.

Simon Walser in München ließ sich einen Gypsbrennofen patentiren (D. R.-P. Nr. 983), der in Fig. 123 dargestellt ist. Derselbe ist aus Eisen construirt und mit einem Motor in Verbindung gebracht, der mittelst versetzten Getriebes die über dem Feuer *B* liegende und von der Flamme umspülte Trommel *A* in eine langsame Rotation versetzt, so daß durch die in der Achse befestigten Schaufeln ein beständiges, aber ganz gleichmäßiges Umwenden des Gypses stattfindet. In die Trommel wird der Gyps durch eine obere Blechthür *D* und die Trommelöffnung gebracht, welche letztere durch eine Eisenblechklappe fest verschließbar ist. Die während des Brennens erzeugten Wasserdämpfe gehen durch eigene Seitenröhren *r r* mit in den Rauchcamin *C*.


Fig. 123.



Soll der gebrannte Gyps aus der Trommel herausgenommen werden, so ist die Trommel so zu stellen, daß die Trommelöffnung auf den trichterförmigen Auslaß *E* trifft. Um die Trommel in Ruhe zu bringen, ist nur nöthig, mittelst eines Schiebers den von irgend einer Transmission herkommenden Riemen auf die leer gehende Riemenscheibe zu schieben. Soll umgekehrt die Trommel aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung übergeführt werden, so ist der Riemen von der leer gehenden Scheibe auf die feste Scheibe zu bringen.

Die Vollendung eines Brandes erfordert, sammt Füllung und Leerung des Kessels, eine Zeitdauer von etwas über einer Stunde, so daß innerhalb 24 Stunden 17 bis 18 Brände à 6 hl sich ergeben, sohin 102 bis 108 hl Gyps geliefert werden können.

Der Gypsbrennofen für ununterbrochenen Betrieb von M. Ehrhardt in Wolfenbüttel und Hans Barth in Braunschweig (D. R.-P. Nr. 12 284 vom 2. Mai 1880) ist in Fig. 124 im Längenschnitt *AB*, in

Fig. 125 im Grundriß, in Fig. 126 (a. f. S.) im Querschnitt *CD* und in Fig. 127 (a. f. S.) in der Ansicht dargestellt.

Derselbe besitzt im Grundriß die Form eines Rechtecks und ist mit einfachen, auf Trägern ruhenden Kappen abgewölbt. Die Heizung geschieht auf einem Planroste *A*, der unterhalb einer Feuerungsglocke *B* liegt, von der die Feuergase

Fig. 124.

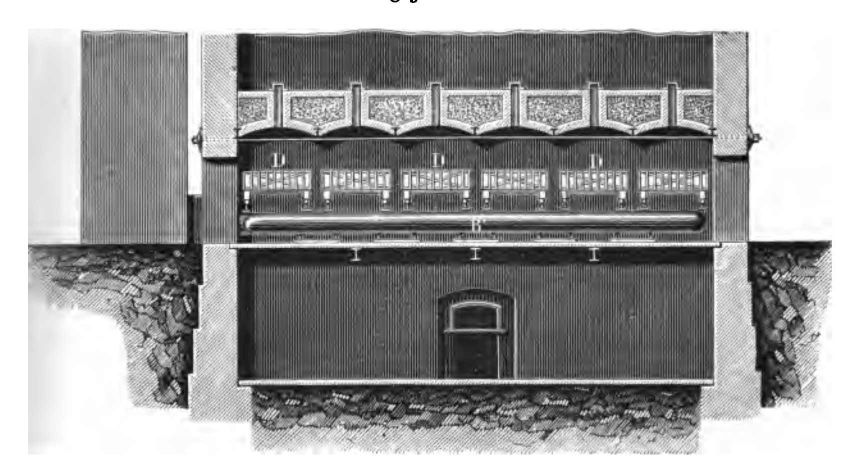
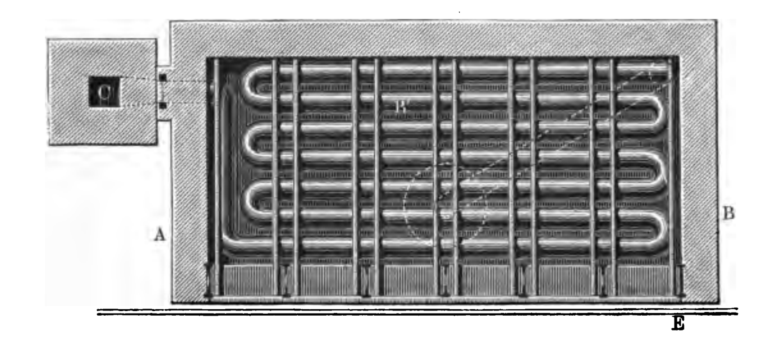


Fig. 125.



zur möglichst gleichmäßigen Vertheilung der Wärme durch ein Rohrsystem B^1 im unteren Theile des Ofens der Esse *C* zugeführt werden. Ueber diesem Rohrsystem sind Eisenbahnschienen angeordnet, auf denen kleine, 1 m im Quadrat haltende und in ihren Wandungen durchbrochene, eiserne Wagen *D* mit dem zu entwässernden Gyps ruhen. Die Beschickung des Ofens wird durch eine Schiebebühne bewerkstelligt, die Platz für einen Zug, also drei Wagen, hat und auf einem, dem Ofen parallelen, bis zur Be- und Entladestelle führenden Geleise *E*

coursirt. Die im Ofen entwickelten Wasserdämpfe werden durch Zuglöcher in den Kappengewölben abgeführt. Der Verschluß des Ofens in den Geleismündungen

Fig. 126.

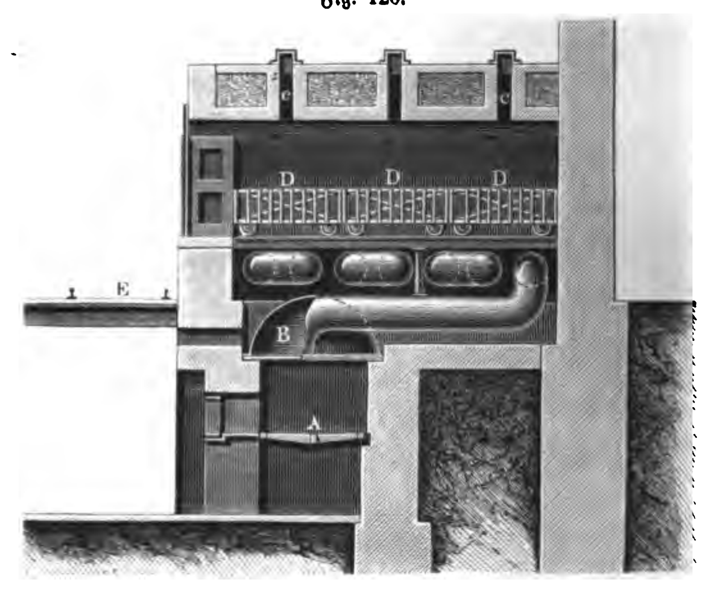
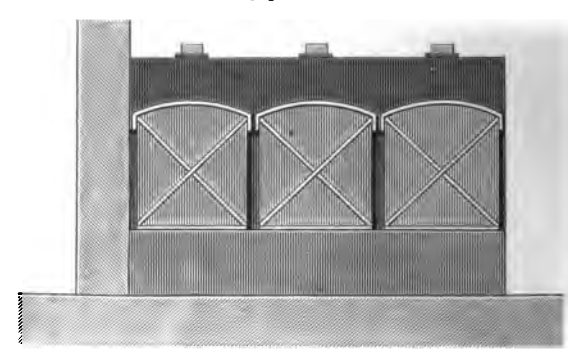


Fig. 127.



geschieht durch eiserne Thüren, an denen Probirlöcher die Controle über den Entwässerungsproceß des Gypses gestatten.

Bei dem Kesselofen zum Brennen von Gyps von F. Hoffmann in Berlin[1]) (D. R.-P. Nr. 22400 vom 21. Septbr. 1882), Fig. 128 bis 131, werden die Gypssteine auf Wagen *B* gepackt, welche auf einem Schienengeleise in den einem Dampfkessel ähnlichen Blechcylinder *A* geschoben werden, worauf

[1]) Dingl. pol. J. 250, 27.

man die beiden Enden durch Deckel *C* verschließt. Die Feuergase ziehen von *D* aus durch die Züge *e*, welche mit Putzlöchern *c* versehen sind, in den zum Schornstein *g* führenden gemeinsamen Fuchs *F*. Diese Feuerzüge sind entweder wagerecht angeordnet, Fig. 128 und 129, oder nach Fig. 130 und 131 schraubenförmig um den Blechcylinder herumgeführt. Die Wasserdämpfe entweichen durch die an beiden Enden des Kessels angebrachten Abzugsröhren *a*. Da die durch die Deckel *C* gebildeten Stirnflächen des Kessels die kältesten Theile seiner Wandungen sind, so kann es vorkommen, daß an denselben eine Condensation der Wasserdämpfe stattfindet; es ist daher zweckmäßig, unten an jedem Ende des Kessels ein kleines Abflußrohr mit Wasserverschluß anzubringen, im Uebrigen aber den Deckel selbst in jeder Weise vor Abkühlung zu schützen.

Fig. 128.

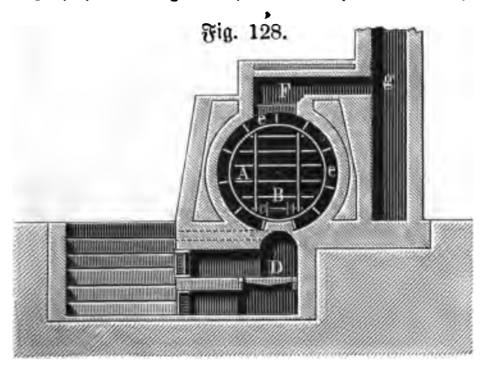


Fig. 129.

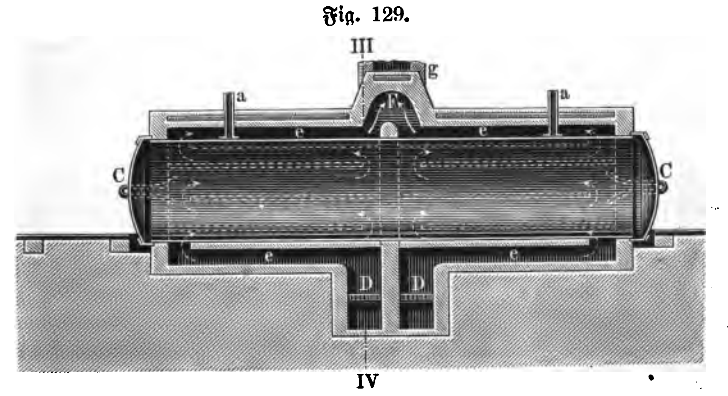
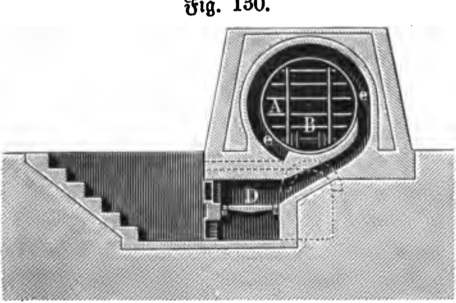


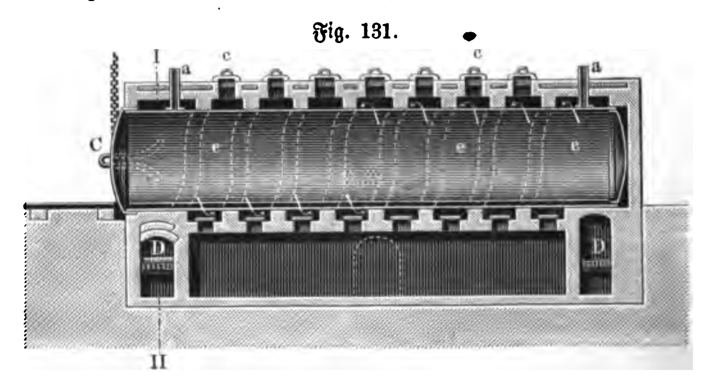
Fig. 130.



Das Schienengeleise, auf welchem die Wagen laufen, setzt sich außerhalb des Kessels entweder nach beiden Seiten fort, wie in Fig. 129, oder nur nach einer Seite, wie in Fig. 131 (a. f. S.) angedeutet ist; außerhalb des Kessels wird dasselbe zweckmäßig mit Weichen oder Schiebebühnen und Nebengeleisen versehen, um eine genügende An-

zahl mit Gyps beladene Wagen vorräthig halten zu können und die fertig gebrannten Wagen mit einem Male herauszuziehen und Zug um Zug durch Ein-

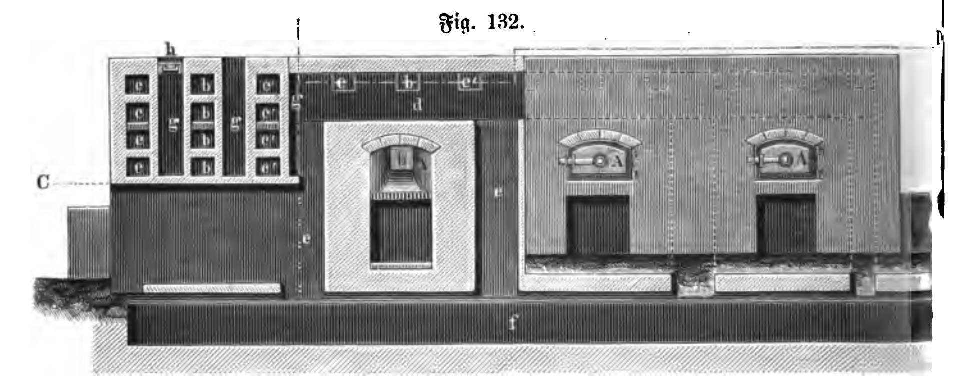
Fig. 131.



schieben frisch beladener Wagen zu ersetzen, so daß das Brennen im Ofen nur die möglichst kürzeste Unterbrechung erleidet.

Der Gypsbrennofen von Hänschke & Co. in Schles.-Haugsdorf bei Lauben (D. R.-P. Nr. 28 874 vom 10. April 1884) ist in Fig. 132 im Vertical-Längenschnitt nach *A — B*, Fig. 133, in Fig. 133 im Horizontal-Längenschnitt nach *C — D*, Fig. 132, in Fig. 134 im Querschnitt nach *E — F*, Fig. 133, und in Fig. 135 im Querschnitt nach *G — H*, Fig. 133, dargestellt. Derselbe ist

Fig. 132.



dadurch eigenthümlich, daß die zur Aufnahme des zu brennenden Gypses bestimmten Kammern schmale verticale Schlitze bilden, die von beiden Seiten aus durch die Züge erwärmt werden, und daß zwischen jedes Paar benachbarter Züge des ganzen Ofens eine derartige Kammer gelegt ist, so daß der Verlust an der von den Zügen abgegebenen Wärme möglichst klein wird. Außerdem ist für die Einfüllung eine obere, für die Entleerung eine seitliche Oeffnung vorgesehen.

In dem Ofen sind mehrere Feuerstellen *A*, in der Zeichnung sind es deren vier, neben einander angeordnet. Von dem Roste *a* jeder Feuerung aus strömen die Feuergase in einen mittleren Canal *b*, außerdem aber gleichzeitig in zwei sich

ı Roste aus seitlich abzweigende, mit *b* parallele und in demselben Niveau ende Canäle *c* und c^1.

Jeder der drei Canäle $b\,c\,c^1$ wird nun in vertical über einander gelegten kzackzügen fortgeleitet und in den Sammelcanal *d* geführt, von wo aus die ergase durch die absteigenden Canäle *e* in den Sohlcanal *f* und durch diesen

Fig. 133.

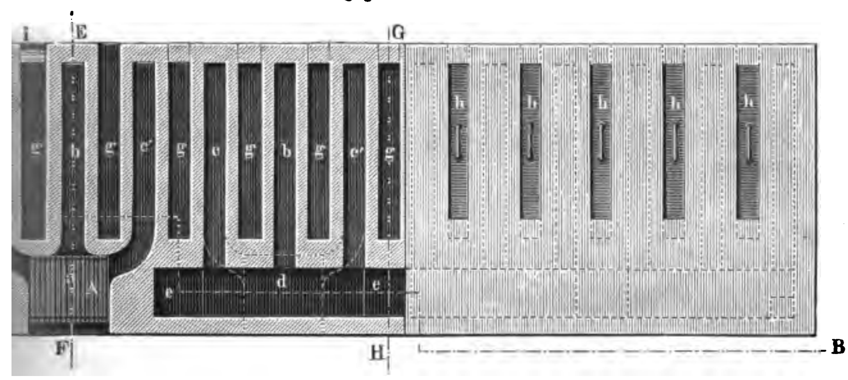
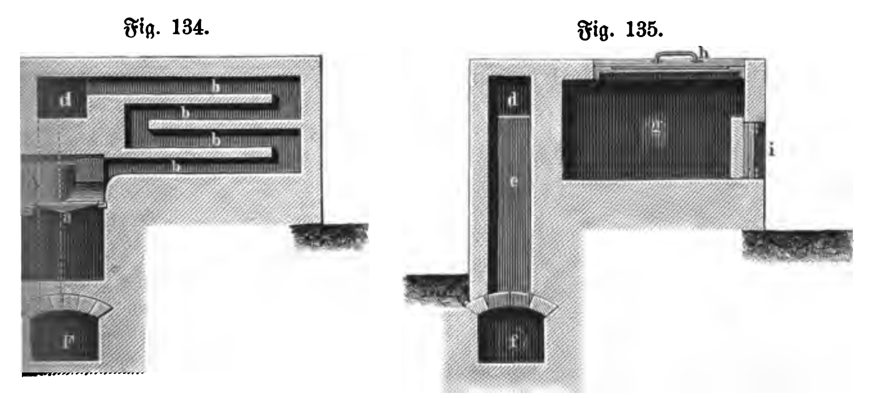


Fig. 134. Fig. 135.



ı Schornstein ziehen. Von dem einen Ende des Ofens zum anderen sind ichen die benachbarten Züge $c\,b\,c^1$ die schmalen verticalen Kammern *g* eingehaltet, auch zwischen den Zügen *c* und c^1 zweier benachbarter Feuerungen be- et sich eine derartige Kammer; hierdurch wird die von den Zügen an das uerwerk abgegebene Wärme so vollständig als möglich ausgenutzt.

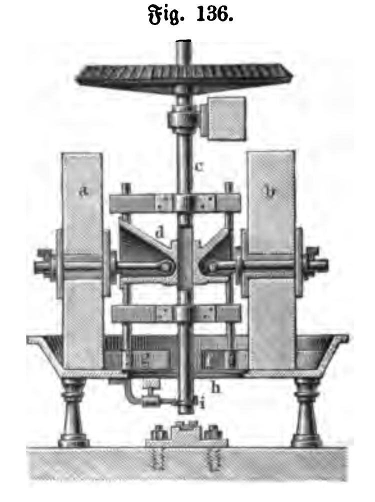
Die Decke der Kammer *g* wird ziemlich der ganzen Länge nach durch den kel *h* geschlossen, nach dessen Wegnahme das zu brennende Material eingefüllt). Um letzteres nach Beendigung des Brennens herauszunehmen, wird die der Hinterseite des Ofens befindliche Oeffnung, welche durch Thür *i* ge- ıssen wird, benutzt.

Nach dem Brennen wird der Gyps gepulvert oder gemahlen. Das Mahlen des Gypses im gebrannten Zustande ist noch leichter als im rohen, da er viel weniger hart ist. Man benutzt hierzu verschiedene Werkzeuge und Maschinen; an manchen Orten sind noch in Verwendung hölzerne Handschlägel (mit platter Unterfläche, die mit Eisen beschlagen ist), Pochwerke oder Stampfmühlen.

Am meisten sind aber zum Mahlen des Gypses im Gebrauche Mühlen entweder mit stehenden (Koller- oder Trottmühlen) oder mit liegenden Mühlsteinen, bei deren Anwendung man die größeren Gypsstücke vorher zwischen cannelirten Walzen zerkleinert.

Von J. H. Reinhardt, Ingenieur in Offenbach a. M., wurde eine verbesserte, einfach construirte Trottmühle ausgeführt, deren Einrichtung aus Fig. 136 bis 138 ersichtlich ist[1]. Zwei Läufer *a* und *b*, von denen sich jeder in einem Scharniere heben kann, werden durch einen Königsstock *c* mit herumgeführt. Der Königsstock ist in der Hülse *d* vierkantig, so daß sich außerdem noch beide Läufer mit der Hülse *d* frei heben können. Die Steine stehen in ungleichen Abständen vom Mittelpunkte entfernt, um dadurch die Mahlfläche des Mühlbettes zu vergrößern, wobei aber der der Axe nähere Stein zur Ausgleichung der Centrifugalkraft schwerer, d. h. breiter gemacht werden muß, als der entferntere Läufer. An dem Königsbaum sind ferner durch zwei aufgekeilte Hülsen zwei Querlatten befestigt, die zwei Streichen *f* und *g* mit sich führen; die Streiche *f* schafft die Füllung von der gußeisernen Bodenplatte auf das rings um den Königsbaum horizontal gespannte Siebblech *h*, welches mit Löchern versehen ist, die der verlangten Feinheit entsprechen. Das Sieb liegt um den Durchmesser eines solchen Loches tiefer als die Läuferbahn, so daß die Streichen nicht auf dem Siebe, sondern nur auf der Bodenplatte schleifen und ersteres nicht zu sehr abnutzen. Auf den Königsstock ist ein Staffelrädchen *i* gekeilt; mittelst Hebelchen und Gegengewicht schlägt ein kleiner hölzerner Klopfer gegen das Siebblech, das fein genug Gemahlene fällt durch und das grobe wird durch die zweite Streiche *g* wieder zurück unter die Steine gebracht und zwar unter den von der Achse entferntesten. Die Befestigung oder das Anspannen des Siebes geschieht auf folgende Weise: In die Bodenschale ist ein vertiefter Ring eingedreht, in welchem das zwischen zwei Flacheisenringen befindliche Sieb durch Schräubchen mit versenkten Köpfen befestigt wird. Die D

Fig. 136.

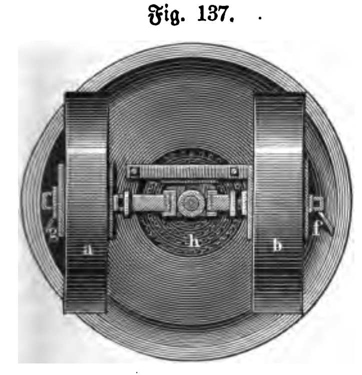


[1] Dingl. pol. J. **143**, 323.

3 oberen Ringes ist gleich dem Durchmesser eines Siebbleches und der ı
acheisenring wird dünner gemacht oder entfernt, wenn durch Abnutzun
uferbahn die Streiche sich zu sehr dem Siebe nähert.

Soll die Masse zu feinem Pulver vermahlen werden, so liegt das Si
c Höhe der Läuferbahn; damit aber die Streicher das Sieb nicht berühren
etwas ausgeschnitten und mit einem das Sieb bestreichenden Wurzelbeser
jen, der auf dieselbe Art wirkt wie eine Streiche (Fig. 138). Bei

Fig. 137.

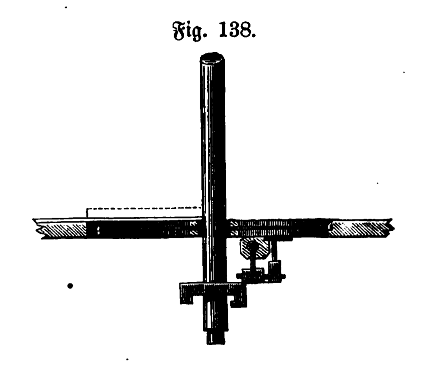


Kollermühle ist gar keine Hand
erforderlich, die Speisung kann best
geschehen, die Lieferung ist vollkon
continuirlich und die ganze Masse
sortirt.

Am häufigsten sind zum Mahlen
Gypses Mahlmühlen mit horizon
Mühlsteinen in Anwendung, weil
selben am meisten Mahlgut liefern
mit geringen Kosten zu unterhalten
dieselben sind von gleicher Einric
wie die Getreidemühlen. Für fe
Sorten von Gyps (zu Stuccatur-
Bildhauerarbeiten) ist der Mühle eine Sieb- oder besser eine Beutelvorric
eigefügt; ordinäre Maurer-, Tünch- und Estrichgypse können gleich vo
Mühle weg verwendet werden.

Eine eigenthümliche Gypsmühle ist von Minich angegeben wo
zwischen zwei starken Eisenplatten, die sich oben trichterartig aus einander b
ist eine eiserne Scheibe eingesch
welcher von der Betriebskraft
hin- und hergehende Bewegun
theilt wird. Die Wangen sowoh
die Scheibe sind mit Zähnen b
die nach Kreisbogen und zwar so
geordnet sind, daß die der Schei
die Vertiefungen der Wange und
gekehrt eingreifen. Diese Gypsm
soll in der Stunde 700 kg G
mehl liefern, bedarf aber zur
und Herbewegung der Scheibe
sehr großen Kraftaufwandes [1]).

Fig. 138.



Da wo weder Wasser-, noch Dampf- oder Thierkräfte zu Gebote st
kann man sich auch mit Vortheil zum Mahlen des gebrannten Gypses
trommelförmigen Handmühle mit Kugeln bedienen.

Da der gebrannte und gepulverte Gyps eine große Neigung hat, das
Brennen entzogene Wasser wieder anzuziehen, so muß derselbe baldmöglich

1) Dingl. pol. J. 169, 331.

luftdichte Gefäße, *am besten in Fässer*, verpackt und bis zur Verwendung in trockenen Räumen *aufbewahrt* werden.

4. Prüfung des Gypses.

Dem natürlichen rohen Gyps können beigemengt sein: Thon, Eisenoxyd, Calciumcarbonat, Schwefelkies, Sand und Bitumen. Sind diese Stoffe nur in geringer Menge vorhanden, so sind sie für die Verwendung des Gypses nicht hinderlich. Alle diese genannten Beimengungen bleiben zurück, wenn man den rohen gepulverten Gyps mit warmem Wasser so lange behandelt, als sich noch Gyps löst.

Eine Beimengung von Anhydrit läßt sich durch eine Wasserbestimmung ermitteln; ungebrannter Gyps enthält zwischen 20 und 21 Proc. Wasser.

Bei gebranntem Gyps kann es vorkommen, daß er nicht, wie er sollte, Wasser aufnimmt und damit erhärtet. Dieses kann herrühren von zu heftigem Brennen oder von unvollständigem Brennen, so daß noch zuviel Wasser darin zurückblieb; oder von einer Beimengung von Anhydrit. Ob ein Gyps nicht gar gebrannt ist, läßt sich durch Bestimmung des Wassergehaltes ermitteln; ein gebrannter Gyps soll höchstens noch einen Wassergehalt von 5 bis 6 Proc. zeigen.

Richtig gebrannter Gyps bildet als Pulver mit Wasser eine ganz gleichmäßige Milch, aus welcher sich bei einigem Stehen in einem Glase ein zarter, dichter, klebriger Teig ausscheidet. Hat man dagegen eine Mischung von Gyps mit Anhydrit, dann entsteht beim Umrühren mit Wasser zwar auch durch den in der Mischung vorhandenen Gyps eine Milch, aber zugleich auch, sowie das Umrühren der Flüssigkeit aufhört, ein Niederschlag von Anhydrit, welcher keinen klebrigen Teig, sondern eine hart anzufühlende Masse bildet, welche nicht formbar ist und beim Austrocknen zerfällt.

Für die Qualität eines richtig gebrannten Gypses geben, wie beim Wassermörtel, auch hier Prüfungen auf physikalische Beschaffenheit, *Abbinden* und Erhärten (Festigkeit) den besten Maßstab.

5. Anwendung des Gypses.

Die technische *Anwendung des gebrannten Gypses* ist sehr mannigfach und dieselbe gründet sich, wie bereits S. 369 erwähnt, auf die Eigenschaft, daß derselbe beim Anrühren mit Wasser eine breiige Masse bildet, welche nach einiger Zeit erstarrt und fest wird.

Als *Mörtel* wurde der Gyps schon von den alten Aegyptern benutzt, wie aus den Untersuchungen zweier Mörtelproben (von der großen Cheopspyramide stammend) von *Wallace* hervorgeht[1]; derselbe fand:

[1] Dingl. pol. J. 177, 372.

	Im Mörtel aus dem Inneren	Im Mörtel vom Aeußeren der Pyramide
Wasserhaltiges Calciumsulfat	81,50	82,89
Calciumcarbonat	9,47	9,80
Magnesiumcarbonat . . .	0,59	0,79
Eisenoxyd	0,25	0,21
Thonerde	2,41	3,00 } wahrscheinlich als Thon enthalten
Kieselsäure	5,30	4,30 }
	99,52	100,99

Es scheint, daß diese Mörtel aus gebranntem Gyps und gebranntem Kalk oder gemahlenem Mergel bereitet wurden.

Auch jetzt noch pflegt man in Gegenden, wo der Gyps reichlich vorkommt und billig zu haben ist, denselben als Mörtel zum Mauern und Verputzen anzuwenden. So wird ganz allgemein und schon von Alters her Gyps in Paris zu allen Mauern über dem ersten Stockwerk als Mörtel benutzt. Außerdem werden aus Gypsmörtel leichte Scheidewände und ganze Decken, sowie äußerer Façadenverputz mit architektonischen Gliederungen, Gesimsen, Säulen &c. hergestellt. Zu den rauheren Verputzen, zu den Maurerarbeiten wird der Gyps so angewendet, wie er von der Mühle kommt, und nur zu feineren Verputzarbeiten, wie zum letzten Auftrage, wird er vorher gesiebt. Nie wird der Gyps in Paris mit Kalk, Sand oder irgend einem fremden Bestandtheile gemengt [1]. — An anderen Orten mischt man zuweilen für Verputz der Außenfläche der Mauern den Gypsbrei mit Kalkmörtel, weil dieses Gemenge nicht, wie gewöhnlicher Gyps, treibt. Manchmal setzt man auch dem Gypsmörtel der Wohlfeilheit, des rascheren Trocknens und des langsameren Erstarrens wegen den dritten Theil bis zur Hälfte Sand oder Ziegelmehl zu; größere Mengen dieser Zusätze verträgt der Gyps nicht. Da der Gypsmörtel viel rascher erstarrt als der Luftmörtel, so muß derselbe auch rasch verarbeitet werden.

Der Gypsmörtel ist wegen seiner Löslichkeit nicht an feuchten Orten anzuwenden; erhärteter Gyps wird beim längeren Eintauchen in Wasser weich und zerfällt; auch darf derselbe nicht im Winter verwendet werden, weil das absorbirte Wasser gefriert und dadurch der Zusammenhang der Masse aufgehoben wird. S. Scott's Selenitmörtel S. 352.

Aus reinem Gypsmörtel werden auch Estriche (Gypsfußböden) für Vorplätze, Fluren, Kornspeicher, Bodenräume &c. auf die Weise hergestellt, daß man auf eine Unterlage von Kies, Erde, geschlagenem Lehm &c. Gypsbrei aufträgt, diesen nach etwa 24 Stunden, wenn er hinreichende Festigkeit erlangt hat, mit eisernen Kellen glättet, abhobelt, mit Leinöl tränkt und mit Blutstein polirt. Ein guter Gypsestrich ist nur zu erzielen, wenn man alle Mittel aufwendet, ein rasches Austrocknen der Gypsmasse zu verhindern; es eignet sich daher auch hierzu ein langsam bindender Gyps besser, der in genügender Stärke auf eine nicht allzu trockene Unterlage aufgetragen wird; auch sollte man einen Gypsestrich an heißen trockenen Lagen, wie auf Hausböden, niemals bei großer

[1] Polyt. Centralbl. 1856, S. 1017.

Hitze gießen, sondern in feuchter kühler Jahreszeit und denselben bei zu raschem Trocknen anfeuchten[1]). Auch ist beim Gießen der Estriche zu berücksichtigen, daß der Gyps beim Erstarren sich um etwa 1 Proc. ausdehnt.

Bei eingelegten Gypsestrichen verfährt man auf verschiedene Weise; entweder legt man vor dem Gypsgießen an die betreffenden Stellen Modelle, nimmt diese nach dem Festwerden des Gypses heraus und gießt die entstandenen Vertiefungen mit farbiger Gypsmasse aus, oder man belegt den Boden musterartig nur theilweise mit Platten von natürlichen oder künstlichen, regelmäßig bearbeiteten Steinen, füllt alle Zwischenräume mit Gypsmörtel aus, ebnet und gleicht das Ganze gehörig ab.

Gebrannter Gyps findet auch eine sehr bedeutende Anwendung zu allerhand Abgüssen (Münzen, Medaillen, Büsten ꝛc.) und zu Formen als Modell zum Gießen von Gyps, Zink, Bronze ꝛc., oder zur Vervielfältigung galvanoplastischer Gegenstände, zu Modellen in der Porcellan- und Fayencefabrikation u. s. w. Hierzu taugt der Gyps in vorzüglichem Grade, da bei dem Erstarren des Gypsbreies eine Vergrößerung des Volumens stattfindet, in Folge dessen die erstarrende Masse in die feinsten Vertiefungen einer Form eindringt, in der man den Brei erstarren läßt.

Für die Nachbildung von Kunstwerken ꝛc. mittelst Gyps[2]) muß zuerst eine Form hergestellt werden, was keine Schwierigkeiten hat, wenn der Gegenstand flach ist und mit keinen einspringenden Winkeln oder freistehenden Theilen versehen ist, welche das Abziehen der Gypsformen verhindern. Derartige Formen werden aus einem Stücke verfertigt. Als Beispiel hierfür soll das Abgießen einer Münze dienen; zu diesem Behufe überzieht man zunächst die abzuformende Seite derselben, wenn sie nicht vollkommen glatt ist, mittelst eines Pinsels mit einem Hauch von Oel, um das Festkleben des Gypses zu verhindern; dann windet man einen Streifen Schreibpapier recht fest um den Rand der Münze und schließt diesen Papierring entweder mittelst einer Stecknadel oder durch Festkleben des äußeren Endes mit etwas Wachs, Leim oder Kleister. Man trägt nun auf die Münze Gypsbrei ein und zwar zuerst mit Beihülfe eines Haarpinsels, wodurch alle Züge gedeckt werden können, und eine dünne Schicht entsteht, auf welche schnell so viel Gypsbrei aufgegossen wird, daß er den Rand des Papieres erreicht. Nach dem Erstarren löst sich die Form leicht ab. Die auf diese Art verfertigten Formen können zu vielen Abgüssen, ebenfalls von Gyps, tauglich und sehr dauerhaft gemacht werden, wenn man sie mit geschmolzenem weißem Wachs tränkt, in welches sie getrocknet etwa eine halbe Stunde lang eingelegt werden. Um in dieselben Gyps eingießen zu können, versieht man sie ebenfalls mit einem Papierrande, und trägt den Gypsbrei so auf, wie auf die Münze selbst. Jedoch müssen diese Formen vor jedem Gusse eingeschmiert werden und zwar mit einer Mischung aus in wenig Wasser aufgelöster Seife und Baumöl.

Soll eine Figur, eine Büste ꝛc. abgegossen werden, so muß man erst eine hohle Form von Gyps darüber machen, und in diese nach Loslösung von

[1]) Thonind.-Ztg. 1882, S. 124.

[2]) Prechtl, Technologische Encyklopädie 1, 71, u. 3 (Suppl.) 425. Karmarsch u. Heeren's Technisches Wörterbuch, III. Aufl., 4, 205.

der Figur dann abermals Gyps hineingießen, welcher nun nach Entfernung der Form die Figur getreu darstellen wird.

Bei dieser Anfertigung der Gypsformen muß entweder das abzugießende Modell zerstört werden — Verfahren mit zerbrechlichem oder verlorenem Modell — um die Gypsform frei zu erhalten, oder das Modell bleibt ganz unversehrt — Verfahren mit bleibendem Modell.

Das Verfahren mit zerbrechlichem Modell kann befolgt werden, wenn das Modell aus werthlosem Material, Modellirthon oder Wachs, besteht. Als Beispiel hierfür diene die Abformung eines Gefäßes von frischem Thon. Man überstreicht zu diesem Ende dieses Gefäß mittelst eines Pinsels mit einer ersten Schicht eingerührten Gypses, trägt darauf mit Hülfe eines Spatels eine zweite Schicht auf, bis die Hülle eine solche Dicke erhält, daß sie hinreichende Widerstandsfähigkeit besitzt. Ist der Gypsüberzug erhärtet, zerstört man das Modell im Inneren, indem man mit Vorsicht, um die Gypsform nicht zu beschädigen, den Thon mittelst geeigneter Instrumente herauszieht, so daß die Form rein zurückbleibt, in die dann Gyps gegossen wird. Ist dieses geschehen, so wird mit einer feinen Säge sehr behutsam die Gypsform in möglichst große Stücke zerschnitten, und diese nachher mit sehr dünn eingerührtem Gyps zu neuem Gebrauche verbunden. Viele Abgüsse sind mit einer solchen Form nicht herzustellen, weil die zackigen Ränder der Bruchstücke bald ausbröckeln und dann nicht mehr genau passen. Ist die Form des Modelles derart, daß man durch die frei gelassene Oeffnung — meist die Unterfläche — nicht gut in das Innere gelangen kann, um die Modelltheile zu entfernen, dann wird die Form zweitheilig gemacht, oder die im Ganzen hergestellte Hülle nachträglich sammt dem Modelle in zwei Hälften zerschnitten.

Das Verfahren mit bleibendem Modell findet bei allen Abgüssen von Stein, Metallmodellen u. s. w. oder von Thier- und Pflanzentheilen Anwendung. In diesem Falle muß die Form aus so vielen Theilen angefertigt werden, daß man jeden einzelnen bequem von dem zu gießenden Gegenstande abziehen kann. Alle diese Theile zusammengefügt bilden nachher die Gießform. Um solche Formen herzustellen, giebt es verschiedene Methoden. Nach der einen, die namentlich bei dem Abgusse von Statuen ꝛc. Verwendung findet, bei welchen einzelne Theile — wie die Gliedmaßen — von der Hauptmasse frei abstehen, gießt man mehrere Theile für sich (von welchen jeder seine selbständige zwei- oder mehrtheilige Form besitzt) und setzt diese dann nachträglich in der richtigen Weise zusammen. Die Verbindung dieser einzelnen Stücke geschieht mittelst gehörig eingelegter Eisenstäbe und mittelst dünnem Gypsbrei. Bei dieser Methode hängt die richtige Zusammensetzung des Abgusses sehr von der Geschicklichkeit des Formers ab, und die Copie wird daher nicht immer sehr getreu.

Eine andere sehr häufig zur Anwendung kommende Methode giebt Formen, welche bei verständiger kunstgerechter Behandlung 60 und mehr Abgüsse zu liefern im Stande sind. Dieselbe wird in nachstehender Weise ausgeführt. Man bezeichnet auf der Oberfläche des Modells die Umrisse der einzelnen Formtheile, die so gewählt werden müssen, daß sie sich vollkommen leicht von demselben abheben lassen, aber doch möglichst groß sind, damit die Form aus so wenig Theilen als möglich bestehe. Dann wird auf dem Modelle um ein solches Feld herum ein

Rahmen aus Thon gebildet und innerhalb desselben Gypsbrei von hinreichender Dicke gegossen. Nach dem Erstarren wird dieses Stück abgenommen, seine Ränder keilförmig beschnitten, mit vertieften Marken versehen und eingefettet. Hierauf legt man dieses Stück wieder auf die betreffende Stelle des Modells, entfernt den Thonrand und verfertigt mit Beihülfe einer abermaligen Begrenzung von Thon das zunächst anliegende Formstück, welches an die eine Seite des ersten genau paßt, auf den übrigen Seiten aber ebenfalls beschnitten und mit Marken versehen werden muß. Auf diese Art fährt man fort, bis über alle Theile des Modells die Formstücke verfertigt sind, welche vermöge ihrer schräg abgerichteten Seiten keilförmig und beiläufig so zusammenpassen, wie richtig behauene Steine eines Gewölbes. Hierauf werden die einzelnen Stücke getrocknet und mit Firniß eingelassen, auch, wenn die Anzahl der Stücke groß ist, mit Nummern versehen, um das Zusammensetzen zu erleichtern. Um die aus vielen Stücken bestehende Form sicher beisammen zu halten, umgiebt man sie gewöhnlich mit noch einer zweiten Form aus Gyps — der Schale —, die gewöhnlich nur aus 3 bis 4 Stücken besteht und durch herumgewundene Schnüre oder Eisenreifen zusammengehalten wird. Endlich bietet die äußere Schale auch noch den Vortheil, daß an dieselbe jene Formstücke, welche wegen ihrer Größe und Schwere leicht in das Innere der Form fallen können, leicht befestigt werden können. Zu diesem Zwecke wird ein Drahtöhr, welches über die obere Fläche eines solchen Stückes vorsteht, in dasselbe mit eingegossen; in dieses Oehr wird ein Faden befestigt, durch ein am gehörigen Orte in die Schale gebohrtes Loch gezogen und außen mittelst eines kleinen Querholzes so eingespannt, daß das innere Stück von der Schale nicht losgehen kann.

Da die Anwendung von Gypsformen für die Vervielfältigung reich gegliederter Architekturstücke, wie Säulencapitäle, Friesverzierungen u. dergl. sehr umständlich und wegen der Kleinheit und Anzahl der Formtheile sehr mühsam ist, wendet man für solche Gegenstände in neuerer Zeit elastische Leimformen an, mittelst welcher auf bequeme Weise auch Modelle mit stark ausladenden und unterschnittenen Theilen gegossen werden können. Man kommt demnach mit einer aus wenigen Stücken zusammengesetzten Leimform zum Ziele, wo eine Gypsform aus weit mehr Theilen hätte zusammengesetzt werden müssen.

Bei Anfertigung von Leimformen wird auf verschiedene Weise verfahren; am einfachsten geschieht dieselbe, indem man das Modell dünn mit Oel bestreicht und frei schwebend etwa $2^1/_2$ cm weit entfernt von einem darunter liegenden Brette befestigt; auf eben diesem Brette errichtet man aus Thon eine Einfassung, welche überall etwa $2^1/_2$ cm weit von dem Modelle absteht, auch um eben so viel über den höchsten Punkt des Modells sich erhebt. Sodann gießt man den ganzen Raum innerhalb des Thonrandes mit einer heißen möglichst starken Auflösung von Tischlerleim voll, welche jedoch noch hinlänglich flüssig sein muß, um sich genau der Oberfläche des Modells anzuschließen. Nach dem Erkalten des Leims, welcher nun die Beschaffenheit einer steifen, zähen und elastischen Gallerte hat, wird der Thonrand beseitigt und die Leimform mittelst eines spitzigen Messers derartig in Stücke zerschnitten, daß solcher so wenige entstehen als möglich und doch ein jedes einzelne Stück sich ohne Schwierigkeit vom Modelle ab-

heben läßt. Die von dem Modelle abgenommenen Leimstücke werden eingeölt, an einander gesetzt und zuletzt bindet man das Ganze mit herumgewickeltem Bindfaden zusammen, worauf unmittelbar der Gypsbrei eingegossen werden kann. Formen von bedeutenderer Größe steift man auch wohl durch Holzstäbchen, welche vor dem Gießen des Leims zweckmäßig angebracht und also vom Leim umschlossen werden.

Aus reinem Leim dargestellte Formen sind nur brauchbar, so lange sie frisch und weich bleiben. Um sie zur Aufbewahrung und zu späterem Gebrauche geeignet zu machen, versetzt man den aufgelösten Leim mit einer gewissen Menge Glycerin oder Syrup (Melasse), welche das Austrocknen verhindern.

Von Hiller[1]) ist in neuerer Zeit statt Leim die sogenannte chinesische Gelatine (Agar-Agar) mit Vortheil eingeführt worden. Die Abkochung derselben erstarrt zu einer farblosen Gallerte, welche sich von allen Stoffen, auf welche sie aufgetragen wird, sogar von Papier, ungemein leicht und vollkommen wieder ablöst und erst bei verhältnißmäßig hoher Temperatur wiederum erweicht. Letzterer Umstand macht solche Formen dauerhafter als solche aus Leim, welche durch die Erwärmug des erhärtenden Gypses leicht leiden, indem die scharfen Kanten bald stumpf werden.

Folgendes Verfahren gestattet ebenfalls, vervollkommnete Leimformen anzufertigen. Das neue Gypsmodell wird in noch feuchtem Zustande mit Talkpulver bestreut und sorgfältig abgepinselt, so daß die Oberfläche leicht geglättet erscheint. Sodann werden auf dasselbe eine Anzahl Anstriche von in Schwefelkohlenstoff oder Petroleumäther gelöstem Kautschuk gegeben, bis sich eine dünne aber gleichmäßige adhärirende Haut gebildet hat. Zu dem letzten Kautschukanstriche wird ungefähr $1/4$ bis $1/3$ gewöhnlicher Copallack hinzugefügt, so daß derselbe etwa während einer halben Stunde seine Klebrigkeit bewahrt, um eine vermittelst eines feinen Haarsiebes aufgestäubte Schicht getrockneter Hartholz-Sägespäne festzuhalten. Nach dem Antrocknen wird das überflüssige, nicht haftende Mehl mit einem weichen Pinsel entfernt und der Leim wie gewöhnlich aufgegossen und nach dem Erkalten abgehoben. Es haftet dann die Kautschukfolie fest an der Innenseite der Form und sie kann, um ihre Widerstandsfähigkeit gegen Schmiermittel zu erhöhen, mit einer Lösung von 1 Thl. Chlorschwefel in 40 Thln. Schwefelkohlenstoff bepinselt bezw. auf kaltem Wege vulcanisirt werden. Die Form ist nach Verlauf von einigen Stunden zum Gebrauche geeignet. Als Schmiermittel darf fette Seifenlösung verwendet werden[2]).

Um elastische Kautschukformen für Gyps und Cementguß herzustellen, welche ebenso verwendet werden wie die aus Leim oder Gyps, wird nach E. Ritschel in Dresden (D. R.-P. Nr. 8098 vom 29. August 1878) über einem Gypsmodell durch mehrmaliges Auftragen von in Benzin gelöstem Kautschuk ein Ueberzug von der erforderlichen Dicke gebildet und nach vollständigem Austrocknen des Lösungsmittels eine Platte aus nicht vulcanisirtem Kautschuk darüber gelegt, welche das Modell von allen Seiten umschließt. Nun wird das

---

[1]) Dingl. pol. J. **192**, 510.
[2]) Thonind.-Ztg. 1884, S. 293.

Ganze $1^1/_2$ bis 2 Stunden bei 4 Atmosphären Druck in einem Vulcanisirapparat gelassen; dann wird nach dem Erkalten über die Kautschukform ein Mantel aus Gyps gemacht und hierauf die elastische Form erforderlichen Falles durch Zerschneiden in mehrere Theile getheilt.

Die Herstellung eines guten Gypsabgusses erfordert nicht nur gewisse Handgriffe und Uebung, sondern auch die genaue Kenntniß der Beschaffenheit des jedesmal verwendeten Gypses. So hat schon die verschiedene Qualität des Rohgypses einen Einfluß auf die Qualität des erhärteten Gypses, d. h. auf seine Härte, den Widerstand gegen mechanische Abnutzung und die Festigkeit (s. S. 371). Ferner erhärtet der gebrannte Gyps am schnellsten, wenn er noch beinahe $^1/_4$ seines Wassergehaltes hat, wenn er also bei einer Temperatur von höchstens 130° gebrannt ist. Von Einfluß ist auch das Korn des gebrannten und gemahlenen Gypses; fein gemahlener Gyps, richtig gebrannt und mit der gerade erforderlichen Menge Wasser angerührt, erhärtet fast augenblicklich, während grob gemahlener Gyps erst nach ungefähr 5 Minuten so weit erstarrt, daß er nicht mehr verarbeitet werden kann.

Die Festigkeit des Gypsgusses hängt aber auch von der Wassermenge ab. Wollte man nur gerade so viel Wasser anwenden, als der Gyps selbst bindet, um in den krystallinischen Zustand überzugehen, so würde man keine gleichförmige, zum Gusse taugliche Masse erhalten; es muß daher stets eine größere Menge Wasser genommen werden, als der Gyps chemisch zu binden vermag. Je größer die Menge des Wassers ist, die man zusetzt, um so langsamer erfolgt das Erhärten, aber mit der Vergrößerung des Wasserzusatzes nimmt auch der Grad der Härte ab, weil nach der Verdunstung des Wassers das Volumen des erhärteten Gypses dasselbe bleibt, wodurch derselbe poröser und weniger fest wird. Je dünner der Gypsbrei, um so leichter dringt er zwar in die feinsten Vertiefungen der Form ein, aber um so poröser wird die Masse und um so langsamer wird sie hart. Dadurch ist es auch möglich, dem Gusse, je nach seiner Bestimmung, zwischen ziemlich weiten Grenzen einen beliebigen Grad von Lockerheit oder Festigkeit zu geben.

Beim Gießen flacher Gegenstände (Münzen, Medaillen, Reliefs) empfiehlt es sich, daß man sofort nach dem Aufgießen des Gypsbreies auf die Form die Rückseite des ersteren dick mit trockenem Gypspulver bestreue, welches eine entsprechende Menge Wasser ansaugt; die Abgüsse fallen bei dieser Behandlung entschieden dichter, härter und fester aus, als man sie ohne diesen Kunstgriff erhält.

Größere Abgüsse werden zur Ersparniß an Material und zur Verminderung des Gewichtes hohl gegossen. Man gießt, um dieses zu bewerkstelligen, zuerst bloß eine verhältnißmäßig geringe Menge dünneren Gypsbrei in die Form, und zwingt denselben, durch geschickte Neigung und Bewegung der Form, ihr Inneres mit einer dünnen Kruste zu bedecken. Wenn diese zwar noch nicht völlig erstarrt, aber auch nicht mehr flüssig ist, so gießt man etwas dickeren Gypsbrei ein und bringt durch den nämlichen Handgriff der Bewegung der Form den Abguß, der aber doch immer hohl bleibt, zur nöthigen Stärke. Bei feinen Gegenständen und wenn es die Beschaffenheit der Form erlaubt, empfiehlt es sich überhaupt, immer zuerst einen Anstrich von feinstem dünnem Gypsbrei mit dem Pinsel zu geben,

und darauf erst zu gießen; dadurch wird verhindert, daß Luftblasen zwischen die Form in den Guß kommen können. Auch die Vermischung des Gypses mit Wasser muß, um Blasen im Gusse zu vermeiden, durch sehr sorgfältiges und ruhiges Umrühren geschehen.

Zum Bild- und Figurengusse wendet man den Gyps allein an; zur Herstellung von Formen wird er zuweilen mit Sand, Ziegelmehl, Thon, Kalk u. s. w. versetzt; diese Zusätze verzögern das Erhärten und vermindern die Festigkeit.

Um das Anhaften des Gusses an den abgegossenen Gegenstand zu verhindern, werden verschiedene Mittel angewendet. Gegenstände aus Metall, Stein u. dergl. übergeht man mit einem fettgetränkten Lappen; Gypsformen oder Gypskerne, die zum Abgießen dienen, pflegt man dünn mit einer Schmiere aus Oel und Seife zu überpinseln. Diese Mischung hat aber den Nachtheil, daß sich nach einiger Zeit auf der Oberfläche des Gusses eine ziemlich dichte Kruste von Kalkseife bildet, welche diese Formen, wo es auf Saugkraft ankommt, ganz unbrauchbar macht; man zieht dann dünnes Einfetten vor oder noch besser, nach Hofmann[1]), zuerst Bestreichen mit Seifenlösung und Ueberpinseln dieses Anstriches mit Glycerin[2]). Frischer angemachter Thon löst sich von selbst ab und bedarf keines Anstriches.

F. Abate in Neapel[3]) hat ein Verfahren erfunden zum Löschen, Formen und Gießen des Gypses, um demselben die Härte und Unveränderlichkeit des Marmors zu ertheilen; durch dieses Verfahren wird das Anmachen des Gypses mit Wasser gänzlich umgangen und jeder Wasserüberschuß von vornherein ferngehalten. Er bringt den gebrannten und gemahlenen Gyps in eine horizontal um ihre Achse drehbare Trommel und führt in diese Wasserdampf ein; dieser wird vom Gyps aufgenommen, welcher dabei seinen pulverigen Zustand behält; man setzt die Einwirkung fort, bis der Gyps sein Gewicht um 28 Proc. vergrößert hat. Dieses Gypspulver wird sodann in gehörig angeordnete Formen gefüllt und darin durch den Druck einer kräftigen hydraulischen Presse so viel wie möglich comprimirt. Die so gewonnenen Abdrücke sind vollkommen scharf und compact und lassen sich gleich Marmor poliren. Selbstverständlich erfordert dieses ziemlich umständliche Verfahren sehr haltbare metallene Formen und ist auf die Darstellung runder Gegenstände nicht anwendbar.

Verkleinerte Gypsabgüsse können hergestellt werden, indem man den gebrannten und gepulverten Gyps mit einem Gemisch von 2 Thln. Wasser und 1 Thl. 90 procentigem Alkohol zu einem dünnen Brei anmacht, welchen man dann auf die eingeölte Originalform gießt. Nach dem Erhärten des Gypses wird derselbe von der Form abgenommen und getrocknet, wobei er sich etwa um $^1/_{25}$ seiner Abmessungen verkleinert; wiederholt man dasselbe Verfahren mehrmals, so erhält man allmälig immer kleiner werdende Abgüsse von vollkommener Schärfe.

Der Gypsguß eignet sich wegen der Wohlfeilheit des Materials, wegen der Leichtigkeit seiner Herstellung und wegen der Schärfe der Wiedergabe des Originals selbst in den feinsten Umrissen in hohem Grade zur Vervielfältigung von Kunst-

---

1) Dingl. pol. J. **185**, 84.
2) Knapp's Lehrb. der chem. Techn. III. Aufl. **1**, 724.
3) Dingl. pol. J. **145**, 286.

producten der Bildhauer. Sein Werth wird aber beeinträchtigt durch den kreidigen harten Ton, durch die nicht sehr große Härte des Gypses und namentlich dadurch, daß seine Oberfläche, wenn sie schmutzig oder staubig geworden ist, schwer wieder rein zu machen ist. Ein Reinigen von Gypsfiguren durch Abwaschen mit Wasser ist nicht ausführbar, weil die Figuren dadurch noch mehr beschädigt werden, indem das Reinigungswasser in die Poren des Gypses eindringt und die aufgenommenen Staubtheile darin absetzt, ganz abgesehen davon, daß die Erhabenheiten der Oberfläche verwaschen werden.

Zur Abhülfe dieser Mängel sind verschiedene Mittel in Vorschlag gebracht worden. Gypsgegenstände, in welchen sich Staub festgesetzt hat, oder die durch Angreifen beschmutzt sind, sollen sich dadurch reinigen lassen, daß man dieselben, nachdem sie mittelst eines zarten Federbesens von lose anhängendem Staube befreit sind, mit einem weichen Borstenpinsel mehrmals mit dickem Stärkekleister bestreicht. Nach dem vollständigen Trocknen blättert der Kleister von selbst ab und die Schmutztheile werden dabei von dem trockenen Kleister, an welchem sie festgeklebt sind, mit fortgenommen. — Sonstige Methoden sind noch: Vorsichtiges Abreiben mit Schachtelhalm, oder Bepinseln, nachdem sie abgestäubt und mit abgerahmter Milch getränkt sind, mit einer fein verriebenen Farbe aus Zinkweiß und Milch; oder Ueberstreichen der Abgüsse mit Permanentweiß (Baryumsulfat), das man mit schwachem Leimwasser angerührt hat. Nach Wolf macht man eine Lösung von hellem Leim in Kalkwasser, hängt den zu reinigenden Gegenstand an einem Faden ein, bis er sich vollgesogen hat und trocknet ihn dann; schließlich bestreicht man ihn mit einer verdünnten Alaunlösung. — Ueberstreicht man die mechanisch gereinigten Abgüsse mit fetter, durch Terpentinöl hinreichend verdünnter Zinkweißfarbe, so erhalten sie ebenfalls eine hübsche weiße Farbe und werden abwaschbar.

Alle diese Mittel erfüllen den beabsichtigten Zweck nur unvollkommen und durch manche derselben wird auch noch der ganze Kunstwerth der Abgüsse zerstört. Es wurde daher auch von einer zur Erörterung der Frage über die Behandlung und Conservirung von Gypsabgüssen im April 1874 von der königl. preußischen Regierung einberufenen Commission anerkannt, daß die in öffentlichen Sammlungen aufgestellten Gypsabgüsse eine periodische Reinigung erfordern, daß es aber zur Zeit noch kein Mittel giebt, die Abgüsse zu einer derartigen Reinigung tauglich zu machen, ohne gleichzeitig die Feinheit ihrer Form und ihre Farbe zu beeinträchtigen. Zugleich wurde von der Commission vorgeschlagen, die Auffindung derartiger Mittel zur Conservirung von Gypsabgüssen zum Gegenstande einer Preisaufgabe zu machen, auf welchen Vorschlag auch die königl. preußische Regierung eingegangen ist[1]). Unter den 161 eingelaufenen Bewerbungen befanden sich drei, denen der Preis zuerkannt werden konnte, nämlich Dr. Reissig in Darmstadt, Dr. Filsinger in Dresden und G. Leuchs in Nürnberg. Diese drei Bewerber sind bei der Lösung der gestellten Frage von denselben Grundsätzen ausgegangen, so daß ihre Methoden zur Herstellung waschbarer Gypsabgüsse wesentlich dieselben sind; dieselben beruhen darauf, nach der Formung auf der Ober-

---

[1]) Wagner's Jahresb. d. chem. Technologie 1875, S. 766.

fläche der Figuren eine chemische Umwandlung hervorzurufen, durch welche an Stelle des im Wasser löslichen und leicht zerbröckelnden Gypses eine unlösliche harte Masse tritt, deren Eigenschaften ganz andere sind.

Das Verfahren selbst und die vorzunehmenden Manipulationen nach Dr. W. Reissig's Methode ist folgendes[1]): Um die Gypsabgüsse gegen Abwaschungen widerstandsfähig zu machen, ist hierzu unbedingt erforderlich, den Gyps als solchen in eine in Wasser, resp. warmer Seifenlösung unlösliche Verbindung überzuführen. Diese Ueberführung mit Beibehaltung der äußersten Schärfe ist nur möglich: 1) durch Barytwasser, wodurch das Calciumsulfat sich umsetzt in Barytumsulfat und Aetzkalk resp. Calciumcarbonat; 2) durch kieselsaures Kali, wobei sich kieselsaurer Kalk bildet.

Obwohl die so behandelten Gypsabgüsse beständig und für warmes Wasser und warme Seifenlösung unangreifbar sind, so bleiben sie doch immer porös, halten Staub gerne fest und ziehen bei Berührung mit Wasser alle Verunreinigungen mit diesem begierig mit ein. Dieser Uebelstand läßt sich jedoch vermeiden, wenn man die unlöslich gemachte Gypsfläche noch mit einer weingeistigen Seifenlösung überzieht, die an und für sich leichter, tiefer und reichlicher eindringt als eine wässerige Lösung und nach dem Verdampfen des Alkohols eine die Poren reichlicher ausfüllende Schichte zurückläßt, die bei dem Waschen selbst als Seifenwasser verwandt wird, welches den auf ihm befindlichen Staub ꝛc. leichter fortführt, ohne daß er eindringen kann.

I. Verfahren mit Barytwasser. Zur Darstellung des Barytwassers schüttelt man in einer gut verstopften Flasche 1 Thl. krystallisirten (eisenfreien) Barythydrates mit ca. 20 Thln. Regen- oder destillirten Wassers so lange, als sich noch etwas löst und läßt dann die Flüssigkeit absetzen. Wenn die Lösung klar geworden ist, so trägt man sie mittelst eines weichen Schwammes oder durch Uebergießen auf die Gypsflächen auf, so lange diese noch aufsaugen, und trocknet dann die Gegenstände in mäßiger Wärme. Zieht dann, bei abermaliger Befeuchtung, das Barytwasser noch sehr leicht ein, so kann man sie damit nochmals überziehen; es ist dieses aber in den meisten Fällen kaum nöthig. Mit vollständiger Trocknung sind dann die Gypsabgüsse, die durch die beschriebene Behandlung zugleich ein weißeres und hübscheres Ansehen erhalten, zur Schlußbehandlung mit der weingeistigen Seifenlösung bereit.

II. Verfahren mit kieselsaurer Kalilösung. Dieses gründet sich auf die Umwandlung des Calciumsulfates in kieselsauren Kalk — eine äußerst harte, dauerhafte, unlösliche Verbindung — und zwar durch Anwendung eines schwach kalihaltenden kieselsauren Kalis. Zur Darstellung der Lösung desselben wird eine eisenfreie Lösung von Aetzkali in Wasser, die ca. 10 Proc. Aetzkali enthält, in geeigneten Gefäßen zum Sieden erhitzt und in dieselbe reine (eisenfreie) Kieselsäure eingetragen, so lange als dieselbe sich löst. Die erkaltete Flüssigkeit wird in gut verstopften Gläsern zur Klärung hingestellt und aufbewahrt. Gut ist es, derselben unmittelbar vor ihrer Anwendung einige Stückchen reinen Kalis

[1]) Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes 1877, S. 386 u. 1878, S. 78. Wagner's Jahresb. d. chem. Technologie 1877, S. 624 u. 1878, S. 726.

oder 1 bis 2 Proc. desselben in Lösung zuzufügen. Sind die zu präparirenden Gypsgegenstände sehr umfangreich, so ist es ferner zweckmäßig, die so gefertigte Lösung zur Hälfte mit reinem Wasser zu verdünnen.

Die Verkieselung der Gypsgegenstände selbst geschieht, indem man dieselben kalt — aber nur wenige Minuten — eintaucht oder die Lösung mittelst eines gut gereinigten Schwammes aufträgt oder sie als Staubregen auf die aufgestellten Gegenstände fallen läßt. Hat die fast momentane chemische Einwirkung stattgefunden, so wird der Ueberschuß der Lösung am besten mit etwas warmem Seifenwasser oder einer warmen Stearinlösung entfernt und auch schließlich diese mittelst noch wärmeren, reineren Wassers weggeschafft.

Noch schneller kann man Gypsgegenstände, die sich eintauchen oder leichter bewegen lassen, warm in der bezeichneten Weise behandeln; es genügt hierzu eine nur sehr kurze Zeit, aber einige Erfahrung. Dieselbe läßt leicht in jedem Falle die stattgefundene Umwandlung des Gypses erkennen, die sich durch ein glatteres, dichteres Ansehen manifestirt, und ebenso leicht mit dem Gefühle durch den Nagel gefunden wird. Die Gypsgegenstände einer längeren Einwirkung der Kalilösung auszusetzen, ist aber nicht rathsam und kann schädlich werden. Einige Uebung läßt aber leicht den richtigen Zeitpunkt treffen. Je frischer und reiner der Gyps ist und je poröser der Guß, um so mehr empfiehlt es sich, rasch zu arbeiten. Güsse, die mit altem schlechtem Gypse bereitet sind, sind zur Verkieselung nicht brauchbar.

Nach der Ausführung eines der beiden beschriebenen Verfahren werden die getrockneten Güsse dann noch mit einem Schutzmittel — der weingeistigen Seifenlösung — überzogen. Wenn es auf Billigkeit derselben ankommt, wählt man reine gute Kernseife, die geschabt und getrocknet warm in 50- bis 60 proc. Weingeist gelöst wird. Auf 1 Thl. Seife nimmt man passend 10 bis 12 Thle. solchen Weingeistes. Eine eben solche Lösung von Marseiller Seife ist der in den Apotheken vorräthige Spiritus saponatus.

Das schönste Aussehen jedoch, wie einen vorzüglich hohen Grad von Dauerhaftigkeit, erhalten die Gypsgegenstände, die mit einer Auflösung von stearinsaurem Natron in starkem Weingeist behandelt worden sind.

Ein Erwärmen der betreffenden Lösungen wie der Gypsgegenstände ist nöthig und vortheilhaft, damit die Lösung vollständigst und möglichst tief eingesogen wird; es schadet auch nicht, dieses mehrmals zu wiederholen, so lange ein Aufsaugen stattfindet. Mit dem Trocknen der so behandelten Gypsgegenstände sind dann die Operationen beendet, die dieselben gegen Abwaschungen vollständig widerstandsfähig machen.

Nach dem Verfahren von Dr. F. Filsinger[1]) werden die Gypsgegenstände zuerst mit einer gesättigten Aetzbarytlösung behandelt, um das Calciumsulfat in Baryumsulfat und Aetzkalk überzuführen, und der letztere wird durch eine kalt gesättigte Borsäurelösung neutralisirt, resp. in unlöslichen borsauren Kalk umgewandelt.

---

[1]) Wagner's Jahresb. d. chem. Technologie 1877, S. 626.

Nach dem Verfahren von G. Leuchs[1]) macht man Gypsabgüsse mittelst Barytkalkwasser abwaschbar, wodurch sich Baryumsulfat und Aetzkalk bildet; letzterer geht an der Luft in kohlensauren Kalk über.

Dechend in Bonn hat sich seine Methode, Gypsabgüsse abwaschbar zu machen, patentiren lassen (D. R.-P. Nr. 3203[2]); dieselbe besteht im Wesentlichen darin, daß man die Gypsabgüsse zunächst mit heißer Boraxlösung härtet und dann durch Bildung unlöslicher Niederschläge in den Poren eine völlig zusammenhängende Oberfläche herstellt, die weder Staub eindringen läßt, noch durch Abwaschen des äußerlich darauf liegenden alterirt wird. Dabei sind die anzuwendenden Substanzen so gewählt, daß eine Ausscheidung von Eisenoxyd oder Aehnlichem nicht stattfinden kann.

Eine warm gesättigte und heiße Auflösung von Borax in Wasser wird mit einem Pinsel im Ueberschusse auf die Gypsgegenstände aufgetragen, bis der gewünschte Härtegrad erreicht ist. In der Regel genügt hierzu ein zweimaliges Aufstreichen. Bei Formstücken ist aber ein fünf- bis sechsmaliges Ueberstreichen nothwendig, um ihnen die erforderliche Härte zu geben. Ein besonderes Trocknen der mit Borax getränkten Abgüsse ist in der Regel unnöthig. Nur sehr dünnwandige Formstücke mögen in Trockenschränken entwässert werden. Sodann wird Chlorbaryum in warm gesättigter heißer Lösung überschüssig aufgepinselt. Hierbei genügt ein zweimaliges Aufstreichen. Den Schluß des Verfahrens bildet das Bepinseln der Gegenstände mit einer heißen Seifenauflösung in Wasser, welche mit Begierde von der fast trockenen Gypsmasse eingesaugt wird. Die auf der Gypsmasse verbleibende überschüssige Seife nimmt man mit heißem Wasser herunter und spült so lange mit kaltem Wasser nach, bis letzteres auf der Gypsoberfläche perlt.

Von R. Jacobsen[3]) wird nachstehendes Verfahren empfohlen: Man stellt sich eine möglichst neutrale Seife aus Stearinsäure und Natronlauge her, löst sie in etwa dem Zehnfachen ihres Gewichtes heißem Wasser auf und tränkt die Figur mit der so heiß als möglich anzuwendenden Seifenlösung durch Begießen oder Eintauchen. Ein solcher Ueberzug ist farblos, stößt das Wasser ab, duldet ein Abwaschen selbst mit lauwarmem Seifenwasser und hält keinen Staub fest. Die Waschbarkeit des Ueberzuges beruht darauf, daß das stearinsaure Natron in kaltem Wasser unlöslich und erst in heißem Wasser löslich ist. Zum Reinigen so präparirter Gypsabdrücke ist lauwarmes Wasser ausreichend, Seifenwasser gar nicht erforderlich.

Um Gypsabgüsse abwaschbar zu machen, löst C. Puscher[4]) in Nürnberg 3 Thle. Aetzkali in 36 Thln. heißem Wasser, setzt 9 Thle. Stearinsäure hinzu und verdünnt den erhaltenen Seifenleim mit der gleichen Menge Wasser und 95 proc. Alkohol. Die warme Lösung wird auf dem erwärmten Gypsabgusse aufgestrichen und dieser dann nach einigen Stunden mit nassem Schwamm abgewaschen. Noch schöner wird der Ueberzug, wenn man statt Kali eine entsprechende Menge Ammoniak anwendet. Alte Gypsabgüsse werden vorher mit 3 proc. Aetzkalilösung gereinigt.

---

1) Wagner's Jahresb. d. chem. Technologie 1877, S. 628.
2) Ebend. 1879, S. 666.
3) Ebend. 1877, S. 630.
4) Kunst und Gewerbe 1882, S. 27.

W. Reissig in Darmstadt hat auch vorgeschlagen, Gyps nach dem Trocknen mit einer Lösung von Kautschuk in Benzol, Petroleumäther oder Schwefelkohlenstoff zu überziehen, um dieselben abwaschbar zu machen (D. R.-P. Nr. 8203 vom 3. Mai 1879) s. S. 345.

Das Enkaustiren, namentlich für kleine Büsten und Statuetten sehr gebräuchlich, bezweckt gleichfalls, die Gypsgegenstände weniger empfänglich für Schmutz und auch abwaschbar zu machen. Zugleich erlangen die so zubereiteten Abgüsse eine etwas transparente Oberfläche, einen sanften Glanz, statt der natürlichen kreideweißen Farbe einen wärmeren gelblichen Ton, überhaupt eine entfernte Aehnlichkeit mit gewissen Marmorarten, mit Elfenbein oder mit wachsgetränktem Meerschaum. Das jetzt fast allgemein übliche Verfahren des Enkaustirens besteht in einem Tränken mit Stearinsäure. Man bringt die nach dem Gießen völlig an der Luft trocken gewordenen Gypsgegenstände in einen Ofen, erwärmt sie darin auf 87° C. und legt sie dann drei bis vier Minuten lang in geschmolzene Stearinsäure. Hierbei kommt es wesentlich auf die Temperatur an. Diese soll in jedem Falle so hoch sein, daß das äußerlich anhängende Stearin nach dem Herausnehmen des Gypsgegenstandes nicht unmittelbar gesteht, sondern noch Zeit hat, sich von der Oberfläche in die Poren zurückzuziehen; bei höherer Temperatur tritt Gefahr ein, daß der Gyps durch Wasserverlust matt wird und das Stearin anfängt sich zu bräunen. Nach dem Erkalten ruft man durch Reiben mit einer weichen Bürste den gewünschten Glanz hervor. Grundbedingung zum guten Gelingen ist, daß die behandelten Stücke aus dem reinsten Gypse bestehen, weil die eingemengten Unreinigkeiten durch die Tränkung mit Stearinsäure zum Vorschein kommen und oft ein schmutziges graues Ansehen verursachen, auch wenn die Gegenstände vor dem Tränken ganz weiß waren. Ausgebesserte Stellen dürfen an den zur Tränkung bestimmten Gypssachen nicht vorhanden sein, weil dergleichen nachher in der durchscheinend gewordenen Masse weit sichtbarer hervortreten.

Bei größeren Gypsfiguren verfährt man auch, um an Stearin zu sparen, auf die Weise, daß man dieselben erwärmt, mit geschmolzenem Stearin überzieht und schließlich in einem geschlossenen Raume auf die Temperatur bringt, welche das Stearin zur Schmelzung bedarf, um das Eindringen desselben in die Abgüsse zu bewerkstelligen.

Einfacher und sparsamer ist das Verfahren von Wiederhold. Man löst 1 bis 2 Thle. Stearinsäure in 10 Thln. Petroleumspiritus (in einem in kochendes Wasser eingesetzten Gefäß) und tränkt damit die Gegenstände 2 bis 3 mal. Nach dem Verdunsten des Petroleumspiritus werden die Gegenstände leicht abgerieben, um ihnen einen schönen Glanz und das gefällige durchscheinende Ansehen zu geben. Selbstverständlich ist bei dieser Arbeit jede Lichtflamme und freies Feuer zu vermeiden[1]).

Um den Figuren einen besonders zarten und warmen Ton zu verleihen, kann man die Stearinsäure durch Zusatz einer höchst geringen Menge Drachenblut und Gummigutt blaß röthlichgelb färben. Die erforderliche innigste Einmischung der Farbstoffe wird dadurch erreicht, daß man eine geringere Menge

[1]) Dingl. pol. J. 178, 246.

Stearinsäure damit zusammenschmilzt und von dieser gefärbten Masse so viel als nöthig mit der übrigen Stearinsäure im Schmelzen vereinigt.

Statt Stearinsäure kann nach Angerstein[1]) auch Paraffin angewendet werden; dasselbe ertheilt dem Gypse in höherem Grade die durchscheinende Beschaffenheit.

Um dem Gypse auch eine größere Härte zu ertheilen, als er gewöhnlich in den daraus gefertigten Abgüssen zu haben pflegt, sind ebenfalls verschiedene Mittel in Vorschlag und auch zur Anwendung gebracht worden, welche im Allgemeinen darin bestehen, daß man den Gyps entweder besonders vorbereitet, oder daß man ihm Zusätze giebt oder daß man die fertigen Gypsabgüsse mit gewissen Substanzen tränkt.

Eine größere Härte erlangen Gypsabgüsse durch das sogenannte Alaunisiren, wovon es zwei von einander abweichende Methoden giebt. Nach der einen, von Pauware[2]) herrührenden Methode, werden die getrockneten fertigen Gypsgüsse in eine warme Alaunlösung (1 Thl. Alaun und 5 bis 6 Thle. Wasser) 15 bis 30 Minuten getaucht, dann herausgenommen, abtropfen gelassen und nun über den erkalteten Gegenstand Alaunlösung geschüttet, so daß er von einer Krystallschicht überzogen wird; hierauf läßt man ihn trocknen, polirt ihn mit Sandpapier und giebt ihm endlich mit einem mit etwas reinem Wasser befeuchteten Tuche die letzte Politur. Durch diese Behandlung werden die Gypsgüsse merklich härter, so daß sie sogar starke Schläge mit dem Hammer ertragen, ohne zu zerbrechen; aber dieselben sind noch sehr empfindlich gegen Feuchtigkeit, so daß sie in Wasser gesenkt so weich werden, daß sie leicht Eindrücke der Finger annehmen.

Nach dem anderen von Greenwood und Elsner verbesserten Verfahren[3]) behandelt man die gebrannten Gypsstücke, so wie sie aus dem Ofen kommen, mit gesättigter Alaunlösung (Gypspulver rührt man mit solcher Lösung an) und brennt dann zum zweiten Male bei schwacher Rothglühhitze; anhaltende gleichmäßige Temperatur ist dabei sehr wesentlich. Der so alaunisirte und zum zweiten Male gebrannte Gyps hat ein mattes, milchweißes, schwach isabellfarbiges Ansehen und läßt sich leicht pulvern. Bei zu starker Hitze werden die Blöcke an den Kanten steinhart, schwer zerreiblich und das daraus dargestellte Pulver bindet das Wasser nicht, ist also todtgebrannt. Richtig gebrannter Alaungyps hingegen erstarrt nach dem Pulvern ebenso wie gewöhnlicher Gyps. Wird das Pulver desselben mit Wasser angerührt, so wird zwar das Wasser gebunden, aber das Product hat keine bedeutende Härte; rührt man aber das Gypspulver statt mit Wasser mit einer Alaunlösung (1 Thl. Alaun und 12 bis 13 Thln. Wasser) an, so bleiben zwar die hierdurch erhaltenen Abgüsse länger naß, aber dieselben, trocken geworden, sind von einer Härte, die der des Alabasters und des Marmors gleichkommt und erhalten besonders an dünnen Kanten eine Durchscheinenheit, dem Alabaster ähnlich. Dicker ausgegossene Platten haben eine so große Festigkeit, daß nur sehr kräftige Schläge mit einem eisernen Hammer im Stande sind, dieselben zu zertrümmern; die Oberfläche derselben

[1]) Dingl. pol. J. 137, 135.

[2]) Ebend. 81, 76 u. 82, 366.

[3]) Elsner, Verhandlungen des Vereins z. Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen 1843, S. 179. Dingl. pol. J. 91, 356.

nimmt eine vorzüglich gute Politur an, und sie sind von der Beschaffenheit, daß sie mit nassen Tüchern abgewaschen werden können, ohne auch nur im mindesten darunter zu leiden; solche Platten blieben Monate lang den wechselnden Einflüssen der Atmosphäre ausgesetzt und hielten Frost, Schnee, Regen und Sonnenschein aus, ohne im mindesten an ihrer Härte verloren zu haben. Man kann derartige Abgüsse lange Zeit im Wasser liegen lassen, sie werden dadurch nicht verändert; ja selbst Stunden lang anhaltendes Liegen in kochendem Wasser hatte keine Veränderung in ihrer Härte zur Folge, nachdem die Probestücke wieder an der Luft trocken geworden waren (Elsner).

Den alaunisirten Gyps nennt man auch Keene's oder englischen Marmorcement, MacLean'schen Cement, Cementgyps, Alaungyps[1]. Nach Landrin erhöht ähnlich wie Alaun die Härte des gebrannten Gypses ein Zusatz von Kaliumsulfat oder verdünnter Schwefelsäure, welche einen etwa vorhandenen Gehalt an Aetzkalk in Sulfat umwandelt[2].

Von Keating[3], Francis, Casentini[4] wurde zum Gypshärten Boraxlösung empfohlen. Pariancement ist mit Boraxlösung (1 Thl. Salz auf 11 Thle. Wasser) getränkter Gyps, der stark gebrannt und dann gemahlen mit Weinsteinlösung (1 Thl. Salz auf 11 Thle. Wasser) angemacht wird.

Von Kuhlmann wurde vorgeschlagen, den gebrannten Gyps mit einer Lösung von Wasserglas anzurühren; es zeigte sich aber, daß dadurch starke Auswitterungen von Kaliumsulfat entstanden; jedenfalls muß die Wasserglaslösung äußerst verdünnt angewendet werden. — Nach Blashfield wird der beste Gypsmarmor erhalten durch Anrühren des Gypses mit Leimwasser, dem etwas schwefelsaure Zinklösung zugesetzt wurde. — A. J. Magaud verwendet zum Härten von Gypsguß Lösungen von schwefelsaurem Zink, schwefelsaurem Eisen oder schwefelsaurem Kupfer (D. R.-P. Nr. 14 439).

Nach dem Verfahren von Julhe zum Härten von Gyps mischt man möglichst innig 6 Thle. guten Gyps mit 1 Thl. frisch gebranntem und fein gesiebtem fettem Kalk und verwendet das Gemisch ganz wie Gyps für sich. Ist die Masse gut ausgetrocknet, so tränkt man sie mit einer Lösung irgend eines Sulfates, welches eine durch Kalk fällbare unlösliche Base enthält. Hierzu ist Eisen- oder Zinksulfat am geeignetsten. Bei Anwendung von Zinksulfat bleibt die Masse weiß, während sie bei Anwendung von Eisenoxyd bald das Ansehen des Eisensesquioxydes bekommt; mit Eisensulfat erhält man aber härtere Massen[5].

F. de Wylde[6] stellt Gypscement dar, indem er den Gyps zunächst wie gewöhnlich brennt und ihn dann, in kleine Stücke zerschlagen, in die Lösung eines kieselsauren Alkalis bringt, die kohlensaures Kali enthält. So eignet sich z. B. gut eine Lösung, die pro Liter Wasser 200 g kieselsaures Kali und 50 g Kaliumcarbonat enthält und ein specifisches Gewicht von ca. 1,20 hat. Die

---

1) Thonind.-Ztg. 1882, S. 124.
2) Dingl. pol. J. 215, 75. Polyt. Centralblatt 1874, S. 1369.
3) Dingl. pol. J. 104, 158.
4) Polyt. Centralblatt 1859, S. 1452.
5) Chem. Centralblatt 1885, Nr. 15, S. 283.
6) Deutsche Ind.-Ztg. 1866, S. 108.

Zusammensetzung kann je nach dem Zwecke, zu dem der Cement bestimmt ist, abgeändert werden. Um das Erhärten des Cementes beliebig zu verlangsamen, kann man dem Kaliumcarbonat etwas Kaliumsulfat zusetzen. Nachdem man den Gyps ca. 24 Stunden in der Flüssigkeit gelassen hat, nimmt man ihn heraus, läßt ihn abtrocknen, bringt ihn darauf wieder in den Ofen und erwärmt auf 150 bis 250°; dann pulvert man ihn und will man ihn färben, so vermischt man ihn mit Farbstoffen.

Das Verfahren von Knauer und Knop[1]) zum Gypshärten, durch welches jedem fertigen Gypskörper eine ziemlich harte Oberfläche ertheilt, demselben die Porosität benommen werden kann, so daß ein auf die Oberfläche gebrachter Wassertropfen stehen bleibt und endlich der Gegenstand, ohne Gefahr angegriffen zu werden, durch Waschen mit einem mit Wasser getränkten Schwamm jeder Zeit von Staub und Schmutz gereinigt werden kann, beruht auf der Anwendung eines Gemisches von Kaliwasserglas mit einer Eiweißsubstanz, welche letztere mit Kalk einen harten festen Kitt bildet, der durch das Hinzutreten der Bestandtheile des Wasserglases noch fester wird.

Die zum Härten des Gypses dienende Flüssigkeit wird auf folgende Weise hergestellt: Geronnene Milch (dadurch erhalten, daß man Milch einige Tage an der Luft stehen läßt und dann den Rahm vollständig abnimmt) wird einige Zeit für sich geschüttelt; dann gießt man eine beliebige Menge davon in ein Glas und setzt tropfenweise unter starkem Rühren mit Hülfe eines Pinsels so viel Aetzkalilösung (1 Thl. Aetzkali in 5 Thln. Wasser) dazu, bis aller Käsestoff wieder gelöst und die Mischung eine flockenlose trübe, aber ungefärbte Flüssigkeit bildet, welche hierauf mit etwa $^1/_4$ syrupdicker Kaliwasserglaslösung versetzt wird. Die unmittelbar vor dem Gebrauche zubereitete Mischung trägt man mittelst reiner Schweinsborstenpinsel auf den Gypsgegenstand rasch von oben nach unten auf, läßt ein oder mehrere Tage trocknen und wiederholt dieses Verfahren so oft, bis die Oberfläche die gewünschte Beschaffenheit hat, d. h. bis ein auf den Gypskörper gebrachter Wassertropfen stehen bleibt. Schwarze Flecken von Schwefeleisen, die bisweilen unmittelbar nach dem Anstrich hervortreten und durch Wechselwirkung des im Gypse enthaltenen Eisens und des Schwefelkaliums, das sich bei der Einwirkung des Alkalis auf den Käsestoff der Milch erzeugt, verschwinden beim Trocknen von selbst wieder.

Bei diesem Verfahren kann es vorkommen, daß man einem Gypsgegenstande einen Anstrich mehr gegeben hat, als gut war; dieses hat zur Folge, daß man nach dem Trocknen einen gewissen Glanz und in demselben die Pinselstriche erkennt. Auch kann die Figur nach dem Trocknen einen deutlich gelblichen Ton angenommen haben, wenn man nämlich das Auflösen des Käsestoffs im Aetzkali, statt durch anhaltendes Mischen, durch zu großen Zusatz von Aetzkali beschleunigt. Diese beiden Fehler können wieder durch Waschen mittelst Schwamm und Kalkwasser beseitigt werden; hierbei gerinnt alles, was von der Härtemischung nicht tief in die Poren des Gypses eingedrungen ist, mit dem Kalkwasser zu käseartigen Flocken, die sich leicht abwaschen lassen. Der nach dem Abwaschen wieder weiß

[1]) Dingl. pol. J. 177, 486.

gewordene Gegenstand kann nochmals vorsichtiger gehärtet werden. Bei gelungener Arbeit hat der gehärtete Gypsguß das kreidige Ansehen des Gypses verloren und einen weichen leichten Ton bekommen.

Zum Härten von natürlichem Gyps wird von J. Heinemann in Hannover nachstehendes Verfahren (D. R.-P. Nr. 25 993 vom 24. Juli 1883) angegeben. Die aus rohem Gypsstein gefertigten Gegenstände werden erhitzt und hierauf zuerst in eine Chlorcalciumlösung, dann in eine Magnesiumsulfatlösung gebracht. Es bildet sich Gyps, der sich innerhalb des Steines ablagert, und Chlormagnesium, das durch Einlegen der Gegenstände in Wasser gelöst wird. Nachdem das Erhitzen und das Eintauchen in die Lösungen nochmals ausgeführt sind, werden die Gegenstände abwechselnd mit Leim- und Tanninlösung behandelt und dann getrocknet. Der Chlorcalciumlösung können zur Färbung des Steines Metallsalze hinzugesetzt werden, die durch eine andere Lösung in unlösliche gefärbte Metallsalze umgewandelt werden.

Um das Erhärten des gebrannten Gypses nach Belieben zu verzögern, wurde von Casentini[1]) eine gesättigte Lösung von Borax in Wasser empfohlen. Man verdünnt die gesättigte Boraxlösung noch mit Wasser, dessen Quantität davon abhängt, ob man das Erhärten des Gypses mehr oder weniger verzögern will. Wenn man 1 Vol. Boraxlösung mit 12 Vol. Wasser vermischt, so wird das Erhärten um ungefähr 15 Minuten verzögert. Nimmt man auf 1 Vol. Boraxlösung 8 Vol. Wasser, so wird das Erhärten um 50 Minuten, nimmt man 4 Vol. Wasser, so wird es um 3 bis 5 Stunden, nimmt man 2 Vol. Wasser, so wird es um 7 bis 10 Stunden, nimmt man gleiche Volumina Boraxlösung und Wasser, so wird es um 10 bis 12 Stunden verzögert. — Auch durch eine Leimlösung wird das Abbinden des Gypses verzögert.

Nach L. Puscher[2]) wird die Erhärtung des Gypses sehr lange dadurch verzögert, daß man dem gebrannten gepulverten Gyps 2 bis 4 Proc. fein gepulverte Eibischwurzel (Althäawurzel) zufügt und die innige Mischung mit 40 Proc. Wasser zum Teige knetet. Durch den großen Gehalt der Eibischwurzel an Pflanzenschleim erhält man eine, dem fetten Thon gleichende Masse, die erst nach einer Stunde zu erhärten beginnt und nach dem Trocknen so zähe ist, daß sie sich feilen, schneiden, drehen und bohren läßt; diese Masse läßt sich nicht nur zu Gypsformen und Kitten, sondern auch zu Domino- und Schachsteinen, zu Würfeln, Dosen &c. verwenden. Ein Gemenge von Gyps mit 8 Proc. gepulverter Eibischwurzel verzögert das Hartwerden noch längere Zeit und erhöht die Zähigkeit der Masse; sie läßt sich mit der Nudelwalze auf Glasflächen zu großen und dünnen Platten auswalzen, die beim Trocknen niemals springen, sich leicht vom Glase ablösen und schon durchs Reiben Politur annehmen. Mit Erd- und anderen Farben gefärbte Massen geben durch geeignetes Zusammenkneten sehr schöne Marmorimitationen. Auch kann die Masse erst nach dem Trocknen durch in Wasser lösliche Farben gefärbt und nachher durch Tränken mit Leinölfirniß, durch Poliren oder Lackiren wasserdicht gemacht werden.

---

[1]) Polyt. Centralblatt 1859, S. 1452.

[2]) Dingl. pol. J. 191, 344.

Von Dr. Frühling[1]) wird bezweifelt, ob Zusätze von Alaun, Borax ꝛc. eine wirkliche Härtung des Gypses bewirken. Nach seinen Beobachtungen beruht die Wirkung der Zusätze nur in einer Verlangsamung des Abbindens, wodurch es möglich wird, einen substanzreicheren Brei von guter Gießbarkeit herzustellen als mit sehr lockerem und rasch abbindendem Gypse. Beim Austrocknen streben die löslichen Salze (auch Leim, Gummi, Eibischwurzelschleim) an die Oberfläche des porösen Gußstückes und geben dieser eine gewisse Dichtigkeit und Härte, die aber nur bis auf wenige Millimeter in das Innere der Masse reicht und nach kurzer Einwirkung des Wassers wieder verschwindet. Schon das bei der Gypsgießerei zuweilen gebräuchliche Verfahren, durch Beimengung von etwas gelöschtem Kalk dem Gypsbrei das zu rasche Abbinden zu nehmen und für die Verarbeitung handlicher zu machen, erzeugt Gußstücke, welche nach wiederholtem Benetzen mit Wasser eine sehr dichte oberflächliche Kruste erhalten, welcher Umstand für die Haltbarkeit solcher Stücke als Ornamente sehr günstig ist. Es findet auch hier ein Effloresciren des Kalkhydrates nach der Oberfläche statt, mit sehr sichtbarer Wirkung, welche ganz entschieden die der Borsäure und Alaunerdesalze übertrifft.

Das langsame Abbinden eines Gypses zu bewirken, liegt ganz in der Hand des Fabrikanten und hängt vom Brennprocesse ab, man braucht dazu keinen Zusatz von Salzen ꝛc. Der in Härte und Dichtigkeit am höchsten stehende und mit den besten Cementen zu vergleichende Gypsguß, bekannt unter dem Namen Marezzomarmor, weißer Portlandcement ꝛc., wird ohne alle Salzbeimengung nur durch einen langsam geleiteten Brennproceß aus gewöhnlichem Gyps dargestellt. Das Gefüge solcher langsam bindenden Gypssorten ist sehr dicht, fein krystallinisch durch die ganze Masse und sehr wenig wassersaugend.

Um möglichst große Dichtigkeit und doch große Absorptionsfähigkeit für Wasser zu erreichen, hat Frühling die Anwendung des Alkohols als Mittel, das Abbinden des Gypses zu verzögern, in jeder Hinsicht erfolgreich gefunden. Durch Beimischung von 2 bis 25 Proc. und mehr Alkohol zum Wasser, welches man zum Anmachen des Gypsbreies verwendet, kann man die Bindezeit des raschesten Gypses von Secunden bis auf Stunden hinaus verlängern. Entsprechend der Menge des Alkoholgehaltes ist es möglich, die Menge des zur Bildung eines gußgerechten Breies nöthigen Gypses zu vergrößern und die Dichtigkeit der zu erzielenden Gußstücke zu bemessen. Der Alkohol verflüchtigt sich ohne alle Nebenwirkung und hinterläßt eine dem Gehalt an fester Substanz entsprechende dichte Masse. Der Gypsguß mit alkoholhaltigem Wasser ist stets dichter als solcher mit reinem Wasser hergestellt.

Die Gypsabgüsse werden, um ihnen ein schöneres Ansehen zu geben und sie gegen die Einflüsse der Witterung, Wasser, Staub ꝛc. zu schützen, manchmal auch bronzirt, was auf verschiedene Weise ausgeführt wird. Nach einem häufig angewendeten Verfahren[2]) kocht man Leinöl und Aetznatronlauge zur Seife, setzt

---

[1]) Deutsche Töpfer- u. Ziegler-Ztg. 1876, S. 186. Notizblatt für Fabrikation von Ziegeln ꝛc. 1876, S. 157.

[2]) Polyt. Centralblatt 1852, S. 679.

eine Kochsalzlösung zu und fährt mit dem Kochen fort, bis eine sehr starke Lauge entsteht, auf welcher die Seife als eine kleinkörnige Masse herumschwimmt; man schüttelt nun Alles auf ein leinenes Seihtuch und preßt die abgetropfte zurückgebliebene Seife aus; darauf wird die Seife in destillirtem Wasser aufgelöst und durch feine Leinwand geseiht. Unterdessen bereitet man eine Auflösung von 4 Thln. Kupfervitriol und 1 Thl. Eisenvitriol in destillirtem Wasser und filtrirt; diese Lösung wird in einem reinen kupfernen Gefäße zum Sieden gebracht und so lange von obiger Seifenlösung hinzugegossen, bis kein Niederschlag mehr entsteht. Den flockigen Niederschlag, der die grüne Rostfarbe der alten Bronzen zeigt, scheidet man ab und übergießt ihn mit einem Theil der Vitriollösung und erhitzt das Gefäß unter Umrühren seines Inhaltes bis zum Kochen. Nach einiger Zeit wird die Flüssigkeit abgegossen und heißes Wasser aufgeschüttet, dieses von Neuem abgegossen und endlich kaltes Wasser hinzugethan, bis dieser Niederschlag vollkommen ausgewaschen ist. Zuletzt wird derselbe zwischen Leinwand stark ausgepreßt, um recht trocken zu werden. Diese Bronzeseife wird in Verbindung mit einem Firniß angewendet, welcher aus einer Abkochung von 3 Pfund reinem Leinöl mit 380 g reiner und sehr fein gepulverter Bleiglätte besteht. Wenn man zum Bronziren schreitet, so schmelzt man 468 g dieses Firnisses, 250 g Bronzeseife und 157 g reinen weißen Wachses in einem Fayencegefäß bei gelinder Wärme zusammen, am besten geschieht es, wenn man dieses Gefäß in heißes Wasser setzt; das Schmelzen wird einige Zeit fortgesetzt, um alle Feuchtigkeit zu vertreiben. Diese geschmolzene Masse wird sogleich auf den Gypsgegenstand, der vorher in einem geheizten Behältnisse bis zu 90° C. erwärmt wurde, mittelst eines Borstenpinsels aufgetragen. Ist der Gypsgegenstand so weit abgekühlt, daß die Mischung nicht mehr in ihn eindringt, so muß er neuerdings auf obige Temperatur erwärmt werden, ehe man mit dem Anstreichen fortfahren kann, und setzt das ganze Auftragen so lange fort, bis die Farbe hinreichend eingesogen ist. Die bronzirten Stücke setzt man nochmals in den Wärmekasten, dann nimmt man sie nach einiger Zeit heraus und läßt sie mehrere Tage an der Luft liegen. Ist dann der Geruch des Anstriches verschwunden, so reibt man die Stücke mit Baumwolle oder feiner reiner Leinwand ab und trägt, wie bei der gewöhnlichen alten Bronze, auf die hervorragenden Stellen etwas geriebenes Muschelgold oder Bronzepulver auf. Kleine Gegenstände von Gyps taucht man in die Mischung ein und hält sie alsdann an ein Kohlenfeuer, oder an eine rauchfreie Flamme, damit die Bronze eindringe.

Nach Elsner erhält man eine sehr schöne braungrüne Bronzefarbe, wenn man zu einer Lösung von Palmölseife in Wasser eine Lösung von Eisenvitriol und Kupfervitriol hinzusetzt, den erhaltenen Niederschlag auswäscht, trocknet und in einer Mischung von Wachs und Terpentinöl auflöst. Mit dieser Lösung werden die vorher erwärmten Gypsabgüsse mittelst eines Pinsels überstrichen.

Gypsfiguren lassen sich auch nach folgendem Verfahren bronziren: Dieselben werden mit Leinöl durch Auftragen mit einem Pinsel, bis sich nach dem Trocknen ein glänzender Ueberzug bildet, gestrichen. Dann überzieht man dieselben mit einem Lack aus: Leinölfirniß 1 Thl., Kopallack 1 Thl., Terpentinöl $^1/_{15}$ und zwar ein- bis zweimal. Nach 24 Stunden überreibt man die Gegenstände

mit Bronzepulver, bis ein glänzender Ton erreicht ist. Zuletzt reibt man mit Watte ab [1]).

Von Friedrich Walz in Pforzheim und Kreitmayer in München wird eine Gußmasse hergestellt, die allen Witterungseinflüssen, sowie Temperaturveränderungen bis zu den äußersten Grenzen vollkommen zu widerstehen vermag und auch gegen nicht zu starke Säuren sich indifferent verhält. Die Masse, welche statt Gyps zum Gusse von Ornamenten, Figuren ꝛc. sehr gut verwendbar, hart und in hohem Grade politurfähig ist, besteht der Hauptsache nach aus Quarzsand, Marmor, Kalkhydrat, Flußspath ꝛc. mit mäßig concentrirtem Kaliwasserglas sorgfältigst zusammengerührt und in Gelatine oder andere Formen gegossen; nach dem Erstarren und Trocknen werden die gegossenen Gegenstände abwechselungsweise mit Kieselflußsäure und Wasserglas getränkt [2]). — Ein ähnliches Verfahren zur Herstellung einer wetterbeständigen, unlöslichen Gußmasse ließ sich E. Meyer in Köpenick patentiren (D. R.-P. Nr. 3241 und Nr. 6083 vom 12. September 1877). Dasselbe besteht im Wesentlichen darin, daß man Flußspath- oder Kryolithpulver mit fein gepulverter Kreide, Marmor, Quarz ꝛc. mischt und die Mischung mit concentrirtem Wasserglas bis zur syrupdicken Beschaffenheit anrührt; damit werden Abgüsse hergestellt, welche nach dem Trocknen an der Luft noch mit einer verdünnten Wasserglaslösung überstrichen werden.

Schuhmacher in Hamburg stellt imitirte Terracottawaaren aus gefärbter Gypsmasse nach folgendem Verfahren (D. R.-P. Nr. 27 728 vom 4. November 1883) her: Gyps wird mit einem der gewünschten Farbe entsprechenden Quantum rother Erde gemischt und dem Gemisch so viel Dextrin beigefügt, als nöthig ist, um einen plastischen Teig zu erzeugen. Nach dem Formen werden die Figuren gut getrocknet und mit geschmolzenem Stearin getränkt; dann giebt man ihnen einen Anstrich von einer Lösung von gebleichtem Schellack in venetianischem Terpentin, dem man irgend eine rothe Farbe beifügt und schleift diesen Anstrich nach dem Trocknen mit rothem Trippel matt.

Der gebrannte und gepulverte Gyps wird auch verwandt zur Herstellung von Stuck (ital. Stucco), Gypsmarmor, dessen man sich in der Baukunst sowohl zum Ueberziehen der Wände, Säulen ꝛc., als auch zur Verfertigung von Gesimsen und Reliefverzierungen ꝛc. bedient. Hierbei wird der gebrannte und fein gemahlene Gyps, anstatt mit Wasser, mit einer Leimlösung angerührt, was bewirkt, daß derselbe langsamer erstarrt und daß die erstarrte Masse eine größere Härte erlangt.

Die Wände, auf die Stuckmarmor gelegt werden soll, müssen, wenn sie massiv sind, einen rauhen Grundputz erhalten, der zur Hälfte aus gewöhnlichem Gyps, zur Hälfte aus scharfem Sande mit schwachem Leimwasser besteht. Um Stuckmarmor herzustellen, macht man Gyps mit Leimwasser an und bringt die mit Wasser gut verriebene Farbe hinein, die den Grundton des nachzuahmenden Marmors bildet. Um dem Stuckmarmor die gehörige Farbennüancirung zu

[1]) Notizbl. des deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln ꝛc. 1880, S. 364.
[2]) Thonind.-Ztg. 1882, S. 389.

geben, werden mehrere Abstufungen des Grundtons, heller und dunkler, angefertigt. Aus diesen verschiedenartig nach Abstufungen gemischten Massen macht man von jeder einen besonderen Kloß. Will man dem Grundton helle weiße Flecken geben, so bestreut man die Klöße mit Gyps und drückt ihn trocken ein. Die verschiedenen Klöße werden dann zerrissen und in bunter Unordnung neben einander ausgebreitet und die Zwischenräume mit kleineren verschieden gefärbten Gypsteigkugeln ausgefüllt. Ist dies geschehen, so übergießt oder bespritzt man die Klöße mit der sogenannten Sauce, welche die Adern bildet und aus Leimwasser, Gyps und Farbe bereitet ist. Sollen mehrfach gefärbte Adern im Stuckmarmor vorkommen, rührt man die entsprechend gefärbten Saucen an und übergießt die vorbereiteten Gypsmassen auch mit diesen; dann kommt eine neue Lage von Klößen, Gypskugeln und Saucen auf die erste zu liegen, worauf die Masse zu einem großen Ballen geformt wird. Dieser Ballen wird mit einem breiten Messer in Scheiben geschnitten, die Scheiben taucht man, sie mit der Hand fassend, in Wasser ein, legt sie auf den vorher gut genäßten Untergrund auf und streicht sie mit der Kelle fest; indem man so mit dem Belegen der Mauer fortfährt, sucht man stets durch Streichen eine möglichst ebene und dichte Fläche zu erhalten. Sollen die Adern eine bestimmte Richtung erhalten, so zeichnet man sie auf der Mauer vor und läßt hier beim Belegen entsprechende Zwischenräume, die später mit der gefärbten Adermasse ausgedrückt werden.

Beim Anfertigen von künstlichem Granit oder Porphyr werden verschieden gefärbte Gypsmassen in Scheiben geschnitten und getrocknet, dann in Stücke geklopft und so mit in die Masse eingesetzt. Auch Alabasterstücke verwendet man in gleicher Weise.

Sobald die belegte Fläche vollkommen erhärtet ist, wird sie mit einem Hobel von den stärksten Unebenheiten befreit. Hierauf beginnt das Rauhschleifen mit einem groben Sandstein und reibt man damit die Oberfläche, welche mittelst eines Schwammes stets naß gehalten wird, vollkommen ab. Hierauf läßt man den Marmor einige Tage austrocknen und beginnt dann die weitere Schleifarbeit mit einem feineren Sandstein, indem man die Flächen mit einem Schwamm näßt und die Risse, die der Sandstein gelassen, fortbringt; dann wird die Fläche von allem Schliff gereinigt, sämmtliche Poren und Löcher werden ausgestrichen, unreine Stellen ausgestochen und wieder ergänzt, wozu ein Theil der zurückbehaltenen Grundmasse, zu dünnem Teig angemacht, dient. Um auch die geringsten Unebenheiten zu beseitigen, trägt man eine dünne Gypsmasse mit einem Pinsel auf die vorbereitete Stuckmasse auf und spachtelt sie mit einem breiten und dünnen Holzspachtel ab und wiederholt dieses Verfahren wohl zwei- bis dreimal, bis der Zweck vollständig erreicht ist. Ist die Masse vollständig getrocknet, wird mit dem Schleifen unter fortwährendem Annässen und Ueberspachteln fortgefahren, wobei der Schliff stets sorgfältig entfernt wird; dabei wählt man mit dem Fortschreiten des Schleifens stets feinere Schleifsteine (Thonschiefer, dann rothen Jaspis und Blutstein), nach deren Gebrauch ein vollständiger Spiegelglanz eintritt. Um eine noch schönere Politur zu erhalten, tränkt man den Stuckmarmor mit Leinöl; ist dies eingetrocknet, was in einigen Stunden geschieht, so wischt man den Marmor mit leinenen Lappen rein ab und überzieht ihn mit Terpentinöl, in dem etwas

weißes Wachs aufgelöst ist; durch Reiben mit weichen wollenen Lappen tritt die Politur in erhöhtem Grade hervor.

Sollen Mosaikarbeiten in Stuckmarmor hergestellt werden, so wird der Grund bis zum Poliren des Marmors fertiggestellt; aus diesem werden die Figuren, die als eingelegte Arbeit erscheinen sollen, ausgeschnitten und mit anders gefärbter Stuckmasse ausgefüllt; diese verschieden in Zeichnung und Farbe erscheinenden Flächen werden dann gemeinschaftlich fertig polirt [1]).

J. E. Schall hat die künstliche Färbung des Gypses dadurch der natürlichen Färbung der gefärbten Marmorarten ähnlicher zu machen gesucht, daß er die verschiedenen Färbungen erst in der Masse des Gypses selbst sich erzeugen läßt, d. h. er setzt nicht schon gefärbte Substanzen der Gypsmasse zu, sondern läßt die Färbung dadurch sich bilden, daß er der Masse verschiedene Salzlösungen hinzusetzt, bei deren gegenseitiger Berührung sich erst in der Masse die verschiedenen Färbungen erzeugen. So z. B. ein Blau durch Beimischen von Auflösungen von gelbem Blutlaugensalz und einem Eisenoxydsalz; ein Gelb durch Kaliumchromat und ein Bleisalz ꝛc. Dieses Verfahren nennt derselbe Cameotypie [2]).

Die in neuerer Zeit zu architektonischen Zwecken vielfach angewendete Scaliogla (von scaglia, Schuppe, Rinde) besteht aus einem Gemisch von feinem gebranntem Gyps, gepulvertem Gypsspath und Leimwasser.

Nach einem anderen üblichen Verfahren, um auf Wänden, Säulen oder anderen architektonischen Gliederungen einen Stuckmarmor herzustellen, wird zuerst der Untergrund aus Gyps, Cement oder einer ähnlichen erhärtenden Mischung hergestellt, und nachher die Zeichnung und Farbe, welche der Marmor oder ein sonstiges Steinmaterial imitiren soll, durch Bemalen, Aufspritzen ꝛc. aufgetragen.

J. Simonis in Köln hat sich ein Verfahren zur Herstellung von Stuckmarmor patentiren lassen (D. R.-P. Nr. 3254) [3]), nach welchem die marmorirte Fläche auf dem umgekehrten Wege erzeugt wird; diese oberste Fläche wird zuerst mit Farbe und Zeichnung fertig hergestellt und danach das Material, welches später den Untergrund bildet, von der Rückseite aufgebracht. Das Verfahren besteht darin: Auf eine glatte Fläche, Glasplatte oder glatte Steinplatte, wird der mit Farbe angemischte Gyps, Cement so aufgebracht, daß die verschiedenen Zeichnungen und Farbennüancen unmittelbar auf der glatten Fläche erscheinen. Die Zeichnungen und Farbennüancen entstehen wie folgt: Die gefärbte und mit Zeichnungen versehene Schicht wird nur einige Millimeter stark gemacht und zwar im Allgemeinen aus einer reineren und feineren Qualität des Gypses oder Cementes hergestellt. Es erfolgt dann eine Verstärkung dieser dünnen, die Marmorirung enthaltenden Schicht durch weiteres Auftragen von Gyps oder Cement auf der Rückseite bis zur gewünschten Dicke. Die hergestellte Schichte löst sich leicht von der glatten Unterlage ab und zeigt dann auf der Seite, welche

---

[1]) R. Gottgetreu, Handbuch der Baumaterialien. III. Aufl., 1, 403.
[2]) Dingl. pol. J. 104, 312.
[3]) Thonind.-Ztg. 1879, S. 29.

mit der glatten Unterlage in Berührung war, die Marmorirung und wird nun mit Kitt ꝛc. an der zu verzierenden Stelle befestigt.

Als Beispiel für die Entstehung der Zeichnungen und Farbennüancen beschreibt Simonis die Herstellung des Stuckmarmors für ebene Flächen. Ein Strang von Floretseide, Werg oder Cordel wird in eine ziemlich dünnflüssige Mischung von dem mit der entsprechenden Farbe angemischten Gypse oder Cement getaucht und nachdem er eine genügende Menge aufgenommen hat, so aus einander gezupft, daß sich ein Gewebe bildet, welches einem verwirrten Spinngewebe vergleichbar ist. Die sich nach allen Richtungen durchkreuzenden Fäden bilden die Grundzeichnungen für das Geäder. Das Gewebe wird auf die Glasplatte aufgelegt, und nun angemischter Gyps oder Cement in verschiedenen passenden Farben und von Teigkonsistenz mit einem Besen oder Pinsel aufgespritzt. Wenn die aufgespritzte Schicht einige Millimeter stark geworden ist, wird das Gewebe abgehoben; es färbt auf seinem Wege durch die Gyps- oder Cementschicht diese letztere und hinterläßt die Copie seiner Figurirung, indem die gefärbten Ränder, welche es bei seinem Durchgange durch die Gyps- oder Cementschicht gebildet hat, zusammenfließend den Raum ausfüllen, den zuvor das Gewebe eingenommen hatte und sich durch die intensiver gewählte Farbe von den nebenliegenden schwächer gefärbten Schichten auszeichnen. Die so erhaltene dünne Schicht wird durch ferneres Auftragen von Gyps- oder Cementmischung auf die Rückseite genügend verstärkt.

Wie zur Hervorbringung des Geäders Floretseide ꝛc. benutzt ist, kann man sich auch anderer Mittel bedienen. Durch Auftupfen, Aufzeichnen, oder Aufspritzen von gefärbtem Gyps oder Cement lassen sich Adern, Punkte ꝛc. herstellen welche sich dann in dem schwächer gefärbten zugleich oder später aufgetragenen Gyps oder Cement auszeichnen.

Für nicht ebene Flächen, runde Säulen, profilirte Gliederungen, Skulpturarbeiten wird zunächst vom Gegenstande ein Negativmodell in Gyps, Schwefel ꝛc. angefertigt. Bei Gyps wird die Fläche, welche zur Herstellung der Marmorirung dient, mit einer Schellacklösung überzogen und nun die marmorirte Schicht mit ihrer nöthigen Verstärkung ganz wie oben hergestellt. Man kann für die marmorirte Fläche ganz reinen und für die Verstärkung derselben eine geringere Sorte Gyps anwenden.

Nachdem die Gyps- oder Cementschicht von der glatten Fläche abgenommen ist, bedarf sie noch der Politur, die zuerst mit Schlangenstein, darnach mit Zinnasche ausgeführt wird. Marmor, der dem Wetter ausgesetzt ist, kann noch einen Ueberzug von Firniß oder Wasserglas erhalten.

Stucko-Lustro. Bei diesem besteht die Masse aus einer Mischung von gutem fettem Weißkalk und Marmor-, oder Alabaster-, oder feinem Gypsstaub in dem Verhältnisse von 1:2; dieselbe wird mit irgend einer Farbe, die den Grundton des zu imitirenden Marmors haben soll, gleichmäßig gefärbt und auf einen Unterputz von rauhem Luftmörtel einige Linien stark aufgetragen, geebnet und mit einem Reibbrette, das mit weißem Filz überzogen ist, abgerieben. Hierauf wird mit einer flachen Polirkelle die Oberfläche des Stuckes glatt gestrichen, was große Vorsicht erheischt. Aderungen und Flecken werden mit dem Pinsel auf den noch nassen Untergrund aufgemalt, die Farben hierzu werden mit Kalkwasser und ver-

dünnter Stuckmasse, wozu wohl noch Ochsengalle beigemischt wird, zugerichtet. Sind die aufgemalten Farben eingesogen und lassen sie sich mit dem Finger nicht sofort verwischen, so streicht man sie mit der Polirkelle behutsam ein und überzieht dann die ganze Wand mit der Politur, die auf folgende Weise hergestellt wird: 1/2 Liter Flußwasser wird zum scharfen Sieden gebracht und dazu 90 bis 120 g klein geschnittenes Wachs und 30 g Potasche eingemischt; ist beides im siedenden Wasser zergangen, bringt man 90 g geschnittene Seife dazu und bildet so eine rahmartige Flüssigkeit. Nach dem Ueberziehen mit dieser Politur erfolgt das Streichen mit der Polirkelle in gleichmäßigen neben einander sich anreihenden Strichen und dies wird so lange fortgesetzt, bis der genügende Politurglanz hervortritt. Hierbei ist große Uebung erforderlich und je sorgfältiger die Arbeit des Streichens geschieht, desto schöner wird die Politur [1]).

Außer zu den genannten Zwecken wird der Gyps noch verwendet: Zu Kitt zum Zusammenkitten zerbrochener Gypsgegenstände (wozu man meistens alaunisirten Gyps verwendet), oder von Stein, Glas, Porcellan ꝛc.; der hierzu benutzte, sogenannte Universalkitt besteht aus 4 Thln. Alabastergyps und 1 Thl. fein gepulvertem arabischen Gummi, welches Gemisch mit einer kalt gesättigten Boraxlösung zu einem dicken Brei angerührt wird; zu demselben Zwecke wird auch Gyps mit Gummiwasser allein angemacht verwendet. Als Zusatz zu gewissen Porcellanmassen; Gypsformen dienen auch ihrer Porosität wegen häufig zum Formen von Porcellan; des Einsaugungsvermögens wegen braucht man auch Gypsplatten zum Trocknen von Farbenbrei, von Satzmehl (Stärke), Hefe ꝛc. Als Düngungsmittel, besonders für Hülsenfrüchte und Klee, dann als Zusatz zum rothen Weinmoste und als Desinfectionsmittel im Gemenge mit Ferro- und Ferrisulfat und etwas freier Schwefelsäure (Desinfectionspulver von Lüder und Leidloff ꝛc.). Endlich dient auch der Gyps als Conservirungsmittel des Stalldüngers, indem er das bei der Fäulniß gebildete Ammoniumcarbonat bindet und an der Verflüchtigung hindert.

In der Papierfabrikation verwendet man seit einiger Zeit Gyps als Zusatz zur Papiermasse, als Füllstoff. In Deutschland ist es ungebrannter, natürlicher und gemahlener Gyps unter dem Namen Annalin, in England künstlich aus Chlorcalciumlösung mit Schwefelsäure erzeugtes Calciumsulfat, sogenannter **pearl hardening**.

In Gegenden, wo Alabaster in besonders schönen Varietäten vorkommt, wie namentlich in Italien (Volterra), Spanien ꝛc., wird derselbe zu verschiedenen Kunstarbeiten verwendet, wie z. B. zu Vasen, Urnen, Schalen, Kandelabern, Uhrgehäusen ꝛc. Geringere Alabastersorten werden zu Tischplatten, Briefbeschwerern, Fidibusbechern ꝛc. verarbeitet. Auch der Fasergyps wird zu Damenhals- und Armschmuck verarbeitet, indem man durch convexes Schleifen sein Schillern zu verstärken sucht. — Nach einem der Société Anonyme de Certaldo in Paris patentirten Verfahren zum Färben von Alabaster (D. R.-P. Nr. 16 798 und 22 289 vom 2. August 1881) werden die aus Alabaster geschnittenen Gegenstände in ein Bad getaucht, welches außer Alaun noch Oxalsäure oder oxalsaure

---

[1]) Gottgetreu, Handbuch der Baumaterialien, III. Aufl., 1, 405.

Salze enthält, wieder getrocknet und dann in die Färbeflüssigkeit getaucht; man kann auch den Farbstoff, Fuchsin ꝛc., sogleich der Härtungsflüssigkeit beimischen.

Unter dem Namen Tripolith (Dreifach-Stein) brachte B. v. Schenk in Heidelberg vor einigen Jahren ein Fabrikat in Form eines hellbläulichgrauen Pulvers in den Handel, welches sich eben sowohl als Baumaterial, wie auch an Stelle von Gyps als Verbandmittel eignen sollte. Nach der Patentbeschreibung (D. R.-P. Nr. 13 613 vom 7. Juli 1880) werden 3 Thle. eines mit Thon durchaderten Gypssteines mit 1 Thl. Thon vermahlen und 9 Thle. dieses Gemenges mit 1 Thl. Hohofen- oder Gaskoks vermengt; bei Anwendung von Gaskoks sollen auf 10 Thle. derselben 6 Thle. Hammerschlag zugefügt werden. Die innig gemischte Masse wird in einem Kessel zur Austreibung des Wassers langsam auf 120°, nachher auf 260° erhitzt, die erhaltene graue Masse sodann durch ein Cylindersieb von 4 mm Maschenweite geschlagen, welches sich zur raschen Abkühlung schnell zu drehen hat, so zwar, daß ein Sieb von 4 cbm Inhalt in 3 Minuten entleert ist [1]).

Analysen von Treumann (a) und Petersen (b) ergaben für den Tripolith folgende Zusammensetzung:

	a.	b.
Kieselsäure (Sand)	1,16	1,40
Lösliche Kieselsäure	—	1,35
Calciumsulfat	74,98	74,90
Magnesiumsulfat	0,11	—
Calciumcarbonat	6,44	4,61
Magnesiumcarbonat	1,84	4,15
Eisenoxyd, einschließlich etwas Eisen .	0,55	0,54
Thonerde, Kali, Natron	Spuren	Spuren
Kohle	11,60	11,44
Wasser	3,00	2,86
	99,68	101,25

Hiernach ist Tripolith nichts anderes als ein durch etwas Calcium- und Magnesiumcarbonat und Sand verunreinigter Gyps, welcher mit beiläufig ¹/₁₀ seines Gewichtes Kohle oder Koks mäßig gebrannt worden ist. Seine Eigenschaften stimmen auch mit denen des gebrannten Gypses überein; für Wasser ist er nicht undurchdringlicher wie Gyps und seine gerühmte rasche Erhärtung je nach der Behandlungsweise und verwendeten Wassermenge wechselnd. Den Vortheil rascheren Erstarrens gewährt das mit Wasser angewendete Tripolithpulver nur, wenn das Wasser in einem bestimmten Verhältniß zugegeben worden; nimmt man etwas reichlich Wasser, so kann die Erhärtung eines mit dem Brei angelegten Verbandes Stunden lang dauern, nimmt man dagegen wenig Wasser, so erstarrt die Masse vor Beendigung des Verbandes. Prof. Vogt, welcher viele vergleichende Versuche mit Tripolith und Gyps angestellt hat, hält danach ersteren

[1]) Thonind.-Ztg. 1881, S. 119 u. 398. Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1881, S. 354.

nicht für geeignet, während Treumann beim Vergleich von reinem Gyps in Mischungen mit Kohle keinen wesentlichen Unterschied von Tripolith gefunden hat.

Tripolith soll nach Angabe der ihn bereitenden Fabrik eine um mehr als doppelt so große Festigkeit geben als Gyps, in Wasser nicht zerfallen und als Luft- wie als Wassermörtel gute Dienste leisten. Letzteres ist offenbar nicht möglich, da ja Gyps nach und nach von Wasser ausgewaschen wird.

Petersen[1]) hat 1 Gewthl. Tripolith für Bauzwecke mit 3 Gewthln. sogenanntem Normalsand und der vorgeschriebenen Menge Wasser (auf 100 Tripolith 60 Wasser, von welcher Mischung bei 15° eine Aufgußprobe auf der Glastafel eine Abbindezeit von 25 Minuten zeigte) nach den bestehenden Normen zur Prüfung von Cement und Mörtel zu Probekörpern verarbeitet und deren nach 7, 28, 90 und 150 Tagen erlangte absolute Festigkeit geprüft im Vergleich mit gewöhnlichen Portlandcement mittelst des Michaëlis-Frühling'schen Apparates. Hierbei ergab sich, daß gegenüber den Cementsandproben, die im Wasser wie an der Luft stetig fester werden, die Tripolithsandproben wohl auch an der Luft erhärten, wenn auch lange nicht so stark wie jene, daß aber im Wasser nur die Cementproben stetig an Festigkeit zunehmen, die mit Tripolith hergestellten, an der Luft erhärteten Probekörper aber schon nach einigen Tagen im Wasser weich geworden waren und beim Berühren mit der Hand zerfielen. Die aus 1 Gewthl. Tripolith und 3 Thln. Normalsand mit dem nöthigen Wasser nach Vorschrift angefertigten Probekörper ergaben im Mittel von je 5 Versuchen nach

7	28	90	150	Tagen Erhärtung an der Luft
5,4	7,7	8,7	6,9	kg Zugfestigkeit pro Quadratcentimeter,

also nur etwa $^1/_3$ soviel als guten Portlandcement, dabei hatte nach 150 Tagen die Festigkeit schon wieder abgenommen.

Anderweitige Versuche mit Tripolith haben gleichfalls ergeben, daß derselbe den gehegten Erwartungen nicht entspricht. Derselbe wurde auch auf Veranlassung des preußischen Ministeriums der öffentlichen Arbeiten mehrfach sowohl bei Wasserbauten wie bei Hochbauten probeweise verwendet; es hat sich aber gezeigt, daß dem Tripolith als Baumaterial eine Bedeutung nicht beigemessen werden kann. Tripolithguß zur Ausschmückung der Außenflächen von Gebäuden war nach Jahresfrist von der Witterung zerstört[2]). Für Statuen, Büsten, Stuckarbeiten &c. im Innern von Gebäuden, kann derselbe wohl statt Gyps verwendet werden, besonders wenn solche Gegenstände von der blaugrauen Farbe desselben oder gefärbt gewünscht werden.

---

[1]) Berichte der deutschen chem. Ges. 1881, S. 2363.
[2]) Centralblatt der Bauverwaltung 1883, S. 312. Thonind.-Ztg. 1884, S. 196.

IV.

Künstliche Steine.

Als künstliche Steine bezeichnet man solche, deren Materialien man nicht in der Beschaffenheit benutzt, wie man sie in der Natur vorfindet, sondern die man dadurch erhält, daß man chemische Veränderungen und mechanische Mischungen mit den natürlichen Stoffen vornimmt. Man unterscheidet danach zwischen gebrannten und ungebrannten Kunststeinen; selbstverständlich können in dem vorliegenden Werke die gebrannten Steine, wie Ziegel rc., keine Berücksichtigung finden.

Die Fabrikation von ungebrannten künstlichen Steinen für Bau- und Kunstzwecke, bereits im Alterthume bekannt, ist in neuerer Zeit sehr in Aufschwung gekommen.

Es giebt eine lange Reihe von Mischungen, die in den verschiedenen Ländern zum Zwecke der Herstellung künstlicher Steine patentirt worden sind. Namentlich wird in Amerika dieses Gebiet mit erstaunlichem Fleiße cultivirt, die meisten dieser Vorschriften sind aber entweder von fraglichem Werthe oder völlig unbrauchbar[1]).

Die Kunststeine lassen sich nach der Art des Bindemittels, mit welchem die einzelnen Bestandtheile zusammengekittet werden, eintheilen in: 1) Steine, bei denen das Bindemittel Luft-, Wasser- oder Gypsmörtel ist; 2) in solche, bei denen das Bindemittel Magnesiacement ist; 3) Steine mit Wasserglas, und 4) solche mit Bindemitteln organischer Natur. Es kommt auch vor, daß mehrere dieser Bindemittel zugleich angewendet werden.

Nicht selten aber ist auch der Zweck der Darstellung von künstlichen Steinen, Abfälle, die nicht verwerthet werden können, und deren Anhäufung für die

---

[1]) Wagner's Jahresber. d. chem. Technol. 1872, S. 418. Ad. Ott, Dingl. pol. J. 212, 155.

Fabriken eine Quelle großer Unannehmlichkeit werden kann, in nützlicher Weise zu verwenden[1]).

Steine, die Kalk als Bindemittel haben, sind die bekannten Bernhardi'schen Kalksandziegel, deren wir bereits S. 333 erwähnten und welche, wie die gebrannten Ziegelsteine, zu Mauern verwendet werden. Nach Architekt Klette[2]) zerfällt die Kalkziegelfabrikation in drei Operationen: 1) die Massebereitung, 2) das Formen und Trocknen der Steine, 3) das Schnellhärten.

Die Massebereitung erfolgt am besten auf die Art, daß der Kalk auf die gewöhnliche Weise zu Kalkmilch gelöscht und zwar, indem man aus der Menge des zuzugebenden Sandes einen Kreis schichtet und in diesen den Kalk und das nothwendige Wasser bringt, dann den Sand einrührt; oder daß man einen größeren Kalkvorrath in einer Grube einsumpft und davon entsprechende Mengen in einem Kalkkasten mit Wasser zu Kalkmilch anrührt, und dann unter Zugabe der nöthigen Sandmenge und Durchrühren mit der Krücke einen steifen Brei bildet. Diese Masse bleibt in einem Haufen 8 bis 10 Tage liegen, bis der Kalk gleichmäßig vertheilt und aufgeschlossen, und dieselbe die nöthige Plasticität zeigt.

Hierauf schreitet man zum Formen der Kalkziegel oder dem Pressen derselben, für welchen Zweck von dem Erfinder der Kalkziegel, Bernhardi, sowie von Klette, Eckert[3]) u. A. Pressen construirt wurden.

Das Trocknen der Steine geschieht einfach in freier Luft; ein überdeckter Trockenraum ist zwar nicht nothwendig, aber besser; bei trockener Witterung sind die Steine oft schon nach 24 Stunden so weit, daß sie mit freier Hand aufgenommen und in Haufen gesetzt werden können; innerhalb 3 bis 4 Wochen erhalten diese Steine eine solche Festigkeit, daß man sie zum Vermauern verwenden kann. Will man eine schnellere Erhärtung der Kalksandziegel bewirken, so taucht man sie nach dem ersten Trocknen in eine Lösung von Wasserglas, welche in einem solchen Verhältnisse verdünnt ist, daß auf 1000 Steine etwa $^1/_2$ kg trockenes Wasserglas kommt. In dieser Lösung erlangen die Steine sofort und noch mehr nach erfolgtem Trocknen eine cementartige Härte; nach acht Tagen etwa sind sie dann hinlänglich getrocknet und können vermauert werden.

Das Mischungsverhältniß zwischen Kalk und Sand ist in der Regel 1 : 6. Der Bau mit Kalksandziegeln unterliegt denselben Regeln wie der Backsteinbau; es stellt sich diese Bauart um 30 bis 50 Proc. billiger als der Backsteinbau und ist daher besonders da, wo das Material zur Ziegelfabrikation fehlt, namentlich bei landwirthschaftlichen Gebäuden, vielfach zur Anwendung gekommen[4]).

Aehnlich sind die nach dem Verfahren von Coignet in Paris hergestellten Kunststeine; 10 Thle. ungelöschter Kalk werden mit 3 bis 4 Thln. Wasser in einer Mühle vermahlen, dann mit 40 bis 60 Thln. trockenem Sand versetzt;

---

1) Biedermann, Notizbl. d. deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln 2c. 1880, S. 142.

2) Baugewerksztg. 1870, S. 135. Jahrbuch d. prakt. Baugewerbe 1870, S. 126.

3) Baugewerksztg. 1872, S. 97.

4) Bernhardi, Ueber Kalkziegelfabrikation; Verlag v. Oppenbauer in Eilenburg. Bayer. Kunst- u. Gewerbeblatt 1866, S. 600. Dr. Frühling, Notizbl. des deutschen Vereins für Fabrik. von Ziegeln 2c. 1876, S. 127.

unter Umständen werden auch $2^1/_2$ bis 10 Thle. Cement zugesetzt. Die Masse wird innig zusammengemahlen und schließlich in Formen gepreßt (s. S. 339).

Dr. W. Michaëlis erzeugt Kunstsandstein nach folgendem Verfahren (D. R.-P. Nr. 14195 vom 5. October 1880). Derselbe mischt Sand oder irgend eine Modifikation oder Verbindung der Kieselsäure und 10 bis 40 Gewichtsprocent Kalkhydrat, Baryt- oder Strontianerdehydrat in geeigneten Apparaten innig mit einander, formt die so erhaltene Masse und setzt dieselbe alsdann unmittelbar der Einwirkung hoch gespannter Dämpfe in geeigneten Apparaten aus bei Temperaturen von 130° bis 300°. Innerhalb weniger Stunden wird auf diese Weise Kalk- bezw. Baryt- oder Strontianerde-Hydrosilicat und dadurch eine steinharte, luft- und wasserbeständige Masse erzeugt.

Zernikow (in Oderberg in der Mark) stellt künstliche Steine dar, indem er Kalkmörtel mit Sand zuerst der Einwirkung gespannter Dämpfe aussetzt und die erhaltene Masse in Formen preßt (D. R.-P. Nr. 502 vom 2. Juli 1877[1]).

Cressy & Co. in Hastings (Sussex, England) erhielten ein Patent (D. R.-P. Nr. 20890 vom 9. Mai 1882) auf Neuerungen in dem Verfahren zum Erhärten von Kalksandziegeln, welches darin besteht: Als Material wird verwendet irgend eine natürliche Kieselsäure oder ein Silicat, wie z. B. Sand, zerkleinerter Quarz oder andere kieselhaltige Steinarten oder Erden (gebrannter Thon), wovon ein Theil entweder von Natur in einem amorphen Zustande befindlich sein oder in einen solchen übergeführt werden muß, gleichviel, ob er mit irgend einer natürlichen Base verbunden ist oder nicht; sodann entweder gebrannter oder gelöschter Kalk. Beide Materialien werden mit so viel Wasser vermischt als nöthig ist, um daraus eine plastische Masse zu bilden, die dann geformt wird: die geformten Steine werden 8 bis 10 Tage der Luft ausgesetzt, wobei es sich, um eine Carbonisirung der Außenfläche des Steines zu verhüten, empfiehlt, die Oberfläche mit einer schwachen Lösung von Kieselsäure zu bestreichen.

Hierauf werden die geformten Blöcke in Behälter unter Wasser gesetzt, welches am besten mit Kalk oder irgend einer Calciumsalzlösung vermischt wird, um zu verhindern, daß unmittelbar an der Oberfläche ein Auflösen und Auswaschen des Kalkes aus dem geformten Blocke stattfinden könne.

Hierauf werden die Behälter mittelst eingetriebenen Dampfes allmälig erhitzt und auf eine Temperatur von etwa 95° gebracht, bis die erforderliche Härte durch die ganze Masse hindurch erzielt ist. Dies dauert etwa 48 Stunden bis zu 6 Tagen. Hierdurch bildet sich als Deckschicht ein unlösliches Kalksilicat. Wesentlich für das vollendete Aussehen der Oberfläche des Steines ist es, daß durchaus keine Hitze etwa in der Weise wirken kann, daß der Stein der Einwirkung expandirender Dämpfe in seinem Innern ausgesetzt wird.

Die als rheinische Schwemmsteine in der Gegend von Andernach fabricirten Mauerziegel werden aus 90 Thln. Bimssteinsand und 10 Thln. Trier'schem Kalk kunstgerecht angefertigt; vor der Vermauerung müssen sie wenigstens 6 Monate lang austrocknen. Sie sollen ein durch rasches Austrocknen und Trockenbleiben vorzüglich sich auszeichnendes Mauerwerk von mäßiger Trag

---

[1]) Wagner's Jahresber. der chem. Technol. 1878, S. 731.

fähigkeit liefern, auch wetterbeständig sein und sich namentlich für innere Scheidewände, zum Ausmauern von Fachwerkswänden ꝛc. verwenden lassen; für stark belastete Mauern eignen sie sich wenig. Ihre Brauchbarkeit hängt indessen wesentlich von der Güte der Rohstoffe, deren Mischung im richtigen Verhältniß und der Dauer der Lagerung ab [1]).

Von der Firma Grünzweig & Hartmann in Ludwigshafen a. Rh. wird seit einigen Jahren ein Fabrikat auf den Baumarkt gebracht, das sie Korkstein nennt und welches mit gutem Erfolge jetzt schon eine mannigfaltige Verwendung gefunden hat (D. R.-P. Nr. 13 107 [2]). Der Hauptsache nach bestehen die Korksteine aus Korkabfällen, wie sie sich bei der Verarbeitung von Kork zu Stöpseln ꝛc. ergeben. Diese durch maschinelle Vorrichtungen etwa bis Bohnen- oder Erbsengröße zerkleinerten Abfälle werden mit einem dünnen breiartigen Gemische, bestehend aus Luftkalk und Thon, derartig innig vermengt, daß die einzelnen Korktheilchen genügend von dem Bindemittel umgeben sind, alsdann durch Pressen in bestimmte Formen gebracht und darauf in Trockenöfen bei 120 bis 150° getrocknet. Das Ergebniß ist ein äußerst poröses Material von sehr geringem Gewicht, im Aeußeren den rheinischen Schwemmsteinen ähnlich und zu gleichen, aber noch viel mannigfaltigeren Zwecken als diese verwendbar.

Die im deutschen Normalziegelformat hergestellten Korksteine haben das sehr geringe Gewicht von nur 600 g für jeden Stein und ein specifisches Gewicht von nur 0,3 (Specif. Gew. von Kork = 0,24). Die Druckfestigkeit beträgt im Mittel 2,8 kg für das Quadratcentimeter. Die rheinischen Schwemmsteine wiegen 2,2 kg, der deutsche Normalziegel 3,8 bis 4 kg, bei einer mittleren Druckfestigkeit von 4 bezw. 7 kg für das Quadratcentimeter. Das Leitungsvermögen dieser Korksteine für Wärme ist nahezu so groß, wie das des Korkes selbst und sie widerstehen Temperaturen bis zu 180°.

Außer dem Normalziegelformat werden von genannter Firma auch Platten verschiedener Größe und Dicke, so namentlich 25 mm dicke 26 × 25 cm, 30 mm dicke 45 × 25 cm und 40 mm dicke 45 × 25 cm große Platten angefertigt. 100 Stück Korksteine im Normalziegelformat kosten 10 Mk., die 25 mm starken Platten 1,60 Mk., die 30 mm starken 1,80 Mk. und die 40 mm starken Platten 2,20 Mk. für das Quadratmeter frei ab Ludwigshafen am Rhein.

Das sehr geringe Gewicht der Fabrikate, ihre Herstellbarkeit in beliebigen Formen und Dicken, die Möglichkeit, das Material mit scharfem Mauerhammer behauen, es sowohl beschneiden, besägen, als mit Nägeln und Schrauben befestigen zu können, die sehr wichtige Eigenschaft, Mörtel und Putz gut anzunehmen, seine große Leistung als Wärmeabschlußmittel gestatten eine vielseitige Verwendung. Als Bindemittel beim Vermauern dient gewöhnlicher Luftkalkmörtel, dem man des rascheren Trocknens wegen etwas Gyps zusetzt.

Künstliche Steine mit gewöhnlichem Kalkmörtel erhärten erst nach längerer Zeitdauer und zwar an den äußeren Partien rascher, während die Erhärtung im

---

[1]) Deutsche Bauztg. 1880, S. 40. Deutsche Töpfer- u. Ziegler-Ztg. 1875, S. 46.

[2]) Thonind.-Ztg. 1882, S. 130. Wochenschrift des Bayer. Industrie- u. Gewerbeblattes 1885, Nr. 1.

Inneren nur langsam voranschreitet. Das Erhärten wird aber beschleunigt durch Anwendung von Wassermörtel und die damit erzeugten Steine erlangen auch eine größere Festigkeit.

Wir haben bereits S. 332 und 335 mitgetheilt, daß künstliche Steine in großen und kleinen Blöcken aus Cement und Steinbrocken, Beton genannt, schon seit langer Zeit nicht nur zu Wasserbauten, sondern auch zum Häuserbau in ausgedehnter Weise verwendet wurden und daß Cementmörtel als Kunststein zur Fabrikation von Treppenstufen, Grabsteinen, Basreliefs &c. benutzt wird; auch werden schon lange aus Cementmörtel Platten und Dachziegel verfertigt, so z. B. in der Cementfabrik von Kroher zu Staudach am Chiemsee (Bayern), deren Cementdachplatten in dem rauhen bayerischen Gebirgsklima sich seit ca. 30 Jahren vortrefflich bewährt haben. In neuester Zeit werden aber auch mittelst Pressen geformte Cementmörtelsteine in Ziegelform zu Baulichkeiten vielfach in Anwendung gebracht. So fabricirt die Victoria Stone Comp. in London nach H. Highton's Verfahren solche künstliche Steine in großem Maßstabe. Man nimmt dazu Abfälle aus Granitbrüchen, auf je 4 Thle. kommt 1 Thl. Portlandcement unter Zusatz von so viel Wasser, daß die Masse eine teigartige Consistenz besitzt. Dann wird die Masse in Formen gebracht, in denen sie vier Tage lang bleibt und kommt dann zwei Tage lang in Natronwasserglas. Letzteres ist durch Behandlung des Farnhamsteines, eines weichen Sandsteines mit 25 Proc. Kieselsäure, mit Natronlauge hergestellt. Von diesem Steine muß ein Ueberschuß vorhanden sein. Der Cement absorbirt nun die Kieselsäure aus dem Wasserglas und das frei werdende Aetznatron bildet aus dem Farnhamstein gleich wieder Wasserglas; letzteres bleibt daher immer auf gleicher Stärke und es sind daher beim Betriebe nur die unbedeutenden Kosten für den Farnhamstein zu rechnen.

Das Product heißt Victoriastein oder versteinerter Cement und dient zu Fließen, Bausteinen, Kaminsimsen, Treppen &c. Als Pflaster in 5 cm starker Schicht hat sich diese Masse vortrefflich bewährt, sie ist undurchdringlich gegen Feuchtigkeit und widersteht dem Frost. Die Zerdrückungsfestigkeit beträgt 500 kg pro Quadratcentimeter[1]).

Künstliche Steine für Wasserbauten werden nach Dumesnil hergestellt: 50 Thle. gewaschener reiner Flußsand, 20 Thle. Quarzstaub und 30 Thle. Portlandcement werden sorgfältig mit der Hand oder mittelst Maschinen gemischt, in die Formen von Holz oder Metall in Schichten von 0,05 m Stärke höchstens nach und nach eingebettet und jedesmal fest eingestampft. Sind die Steine aus der Form genommen, so werden sie mit 20 grädigem Kaliwasserglas angefeuchtet.

Rädler und Marazzi in Cincinnati wollen bei Anfertigung von Cementsteinen einen günstigen Erfolg dadurch erzielen, daß sie das Gemisch von Portlandcement, Sand und Wasser während des Rührens für eine kurze Zeit, 8 bis 10 Minuten lang, einer Temperatur von 120° C. aussetzen (Ver. St. Pat. Nr. 222 532).

---

[1]) Polyt. Centralbl. 1871, S. 140. Notizbl. des deutschen Vereins für Fabrik. von Ziegeln &c. 1880, S. 142.

Sam. Barret in Leeds stellt Steine zur Anwendung in Hausfluren, Höfen ꝛc. her durch inniges Mischen von Portlandcement mit Sand, Granitstücken, Kalkstein, Ziegelbrocken ꝛc.; das Gemenge wird mit Kalkwasser zu einem Brei angemacht und auf dem Boden ausgebreitet; nach dem Erhärten, das im Verlauf weniger Stunden stattfindet, wird die Masse wiederholt mit Kalkwasser besprengt.

Zur Herstellung wasserdichter künstlicher Steine werden nach H. B. Barl und J. A. Douglas (Amer. Pat. 302 646 vom 29. Juli 1884) zunächst Sand und Cement trocken gemischt, wobei man event. Asbest und eine färbende Substanz zusetzt. Hierauf wird das Gemisch mit Wasser angemacht, mit gelöschtem Kalk versetzt, und das Ganze sorgfältig gemengt. Nachdem dann die plastische Masse zu Steinen geformt ist, passiren letztere zunächst ein Seifenbad und dann, wenn sie getrocknet sind, ein Alaunbad [1]).

Die künstlichen Steinblöcke nach Lallier bestehen aus einer nassen Mischung von Tuffsteinbrocken und Tuffsteinstaub mit hydraulischem Kalk oder Cement in verschiedenen von der beabsichtigten Verwendung abhängigen Mischungsverhältnissen. Die Mischung wird in den Formen stark gedrückt oder zusammengepreßt.

C. Schäffer in Elisabeth, New Jersey (1868), verwendet neben Cement noch Gyps. Ein Gemisch von 1 Gewthl. Cement und 3 Gewthln. Sand wird mit verdünnter Schwefelsäure (100 Wasser und 2 Säure) zu einem Brei angerührt, aus welchem unter Anwendung starken Druckes Steine gepreßt werden; dieselben werden zwei Tage lang an der Luft getrocknet, 12 Stunden lang wiederum in verdünnte Schwefelsäure gelegt und abermals getrocknet.

Nach dem Verfahren zur Herstellung von Massen für künstliche Steine von Friedr. W. Pöstges in Düsseldorf (D. R.-P. Nr. 20 751 vom 9. Juni 1882) werden 6 Thle. Gyps und 1 Thl. gebrannter Kalk, welcher mit 10 proc. Alaunwasser gelöscht ist, mit 3 Thln. scharfem Sande gemischt. Diese trockene Mischung wird mit Wasser, welches zu 22 Thln. 2 Thle. 10 proc. Leimwasser und 1 Thl. 15 proc. Essigsäure enthält, je nach Benutzung angefeuchtet. Die Verwendung der Masse zu Steinen, Blendziegeln, geschieht durch Pressung des Mörtels.

Zur Herstellung wetterbeständiger künstlicher Steine, welche entsprechend geformt zur Bekleidung von Gebäuden dienen sollen, mengt F. Winkelmann in Berlin (D. R.-P. Nr. 11 223) 30 kg Marmorstücke von 2 bis 10 mm Durchmesser mit 10 kg Cement, 20 Liter Wasser und 125 ccm Schwefelsäure. In die Formen fest eingestampft oder gepreßt, erhärtet die Masse nach einigen Tagen und wird dann geputzt, geschliffen und geölt, worauf die Stücke zur Verwendung fertig sind.

Nach Dumesnil erhält man brauchbare Bausteine auf folgende Weise: Man vermischt 7 kg Alaun mit 6 kg Mehlkalk und 1 kg gelbem Ocker und giebt das Ganze in 500 Liter Wasser; dann setzt man 1 kg Leim, in 5 Liter warmem Wasser gelöst, hinzu, übergießt mit dieser Flüssigkeit ca. 900 Liter Gyps und mischt zu gleicher Zeit noch 450 Liter reinen Flußsand bei. Der erhaltene Brei wird in Formen gegossen und nach dem Erstarren getrocknet. Um

[1]) Chemiker-Ztg. 1884, Nr. 66.

diese Steine gegen die auflösende Wirkung des Regenwassers zu schützen, werden sie dreimal mit einer Kaliwasserglaslösung von 20 bis 26° B. bestrichen.

Westermeyer in Chikago mischt 2 Thle. Portlandcement, 1 Thl. Sand und 1 Thl. Schlacken trocken zusammen und befeuchtet das Gemisch mit Eisenvitriollösung. Dieser Mörtel wird in Formen gepreßt und getrocknet.

Thomas Hall in Portsmouth, Ver. St., stellt Steine her aus Cement, Sand und Schlacke, oder aus Cement und Eisen oder Eisenoxyd. Die Masse wird in Formen gepreßt, der Luft ausgesetzt und dann in verdünnte Schwefelsäure getaucht, damit ein Theil des Eisens gelöst wird, welche Lösung das Ganze imprägniren und verkitten soll.

Die Firma Lippmann, Schneckenberger & Co. bringt Producte aus künstlichem Marmor in den Handel unter dem Namen Similipierre, Similimarbre (um die täuschende Aehnlichkeit anzudeuten, welche diese Masse mit dem natürlichen Steine und dem natürlichen Marmor hat). Dieser künstliche Marmor wird hergestellt aus 1 Thl. Cement, 1 Thl. gehacktem Flachse oder Werg, 1 Thl. mit Leinöl getränktem Thon, 1 Thl. Marmorpulver. Das Gemenge wird mit einer Lösung von Kaliumsulfat angerührt. Je concentrirter diese Lösung ist, desto schneller bindet die Masse ab. Das Ganze wird geklopft und gestampft, bis es eine teigartige Consistenz erlangt, in welchem Zustande die Masse in Formen gepreßt wird. Statt des Marmors kann man auch Quarzsand, Kies ꝛc. anwenden; durch Zusatz von Mineralfarben kann der Masse eine beliebige Farbe ertheilt werden; die Masse kann nach der Erhärtung polirt, gedreht, gemeißelt werden, ganz wie die natürlichen Steine[1]).

Die Herstellung von künstlichem Marmor (Stuckmarmor) ist bereits S. 409 näher besprochen worden. In ähnlicher Weise kann auch statt Gyps Cement verwendet werden.

Rudolph Zuber in Berlin ließ sich die Herstellung einer luftfreien Masse für künstliche Steine patentiren (D. R.-P. Nr. 27 727 vom 30. Octbr. 1883). Die zur Herstellung erforderlichen Bestandtheile, Kies oder Sand einerseits, und Cement, hydraulischer Kalk oder ähnliche Materialien andererseits, werden, gehörig getrocknet, in einen luftdicht verschließbaren Behälter gebracht. Dann wird durch eine Luftpumpe ein Vacuum hergestellt und hierauf ausgekochtes und eventuell mit Farbstoff versetztes Wasser in den Behälter eingelassen und mit dem Inhalt durch ein Rührwerk vermengt. Nachdem man dann Luft in den Behälter eingelassen hat, läßt man die breiartige Masse in die Formen laufen.

Zur Herstellung von Kunstsandstein benutzt Zernikow, Oderberg i. d. Mark (D. R.-P. Nr. 29 698 vom 7. Februar 1884), Kessel, in denen man die Formen so über einander stellt, daß die eine Form auf den Formdeckel der anderen Form drückt. Den Deckel der obersten Form belastet man noch besonders. Die so unter starkem Drucke stehende Masse wird mit hochgespannten Wasserdämpfen behandelt.

Wie bereits S. 358 erwähnt, giebt gebrannte Magnesia mit einer Lösung von Chlormagnesium (20 bis 30° B. stark) angerührt, eine ausgezeichnet harte

[1]) Dingl. pol. J. 170, 212.

weiße Masse; dies ist der im Jahre 1867 von Sorel entdeckte Magnesiacement. Demselben lassen sich auch Stoffe der verschiedensten Art einverleiben, so daß sehr feste Massen zu ziemlich billigen Preisen hergestellt werden können.

Von einer Bostoner Gesellschaft, Union Stone Company, wurde auch zuerst vor mehreren Jahren versucht, künstliche Steine mit Hülfe des Magnesiacements zu erzeugen[1]). Zu dieser Fabrikation wird der in Pennsylvanien, Maryland, Californien ꝛc. in großen Lagern vorkommende Magnesit benutzt, der durchschnittlich ca. 95 Proc. Magnesiumcarbonat enthält, während der Rest vorzugsweise aus unlöslicher Kieselsäure und Silicaten besteht. Dieses Mineral wird in Oefen ca. 24 Stunden lang bei niedriger Hitze gebrannt; bei Anwendung hoher Hitze wird es für die Verwendung als Cement unbrauchbar. Der gebrannte weiße Magnesit wird dann zu fast unfühlbar feinem Pulver gemahlen und in geeignetem Verhältniß trocken mit Sand gemischt; die Menge der Magnesia beträgt meist nur etwa 10 Proc. Der Mischung wird nun so viel Chlormagnesiumlösung von 20 bis 30° B. zugesetzt, daß eine plastische Masse erhalten wird, die in einer Maschine gleichmäßig durch einander gearbeitet wird. Hierauf wird die Masse in Formen dicht eingerammt, aus welchen sie sofort herausgenommen werden kann. Wenige Stunden nach dem Herausnehmen aus den Formen läßt sie sich handhaben und nach einer Woche kann sie für Bauzwecke verwendet werden. Nach Versuchen, die auf der Bostoner Werfte ausgeführt worden sind, beträgt die Druckfestigkeit dieser künstlichen Steine zwischen 1000 bis 1500 kg pro Quadratcentimeter.

Die Bostoner Gesellschaft verfertigt aus Magnesiacement und Feuerstein auch Wetz- und Schleifsteine, mit Zusatz von Smirgel Smirgelscheiben, mit Kaolin Ornamente aller Art, mit Marmor, Schiefer ꝛc. Nachahmungen von Marmor, Schiefer, Granit ꝛc. Die Darstellung dieser Gegenstände geschieht, indem man den Teig aus Cement und Beimischung in entsprechende Formen preßt.

Unter dem Namen Cajalith bringt Schmidt in Dresden, und unter der Bezeichnung Albolith Riemann in Breslau Waaren aus Magnesiacement in den Handel (S. 359).

Es ist nicht nothwendig zur Herstellung des Magnesiacementes Chlormagnesium (welches von den Staßfurter Werken in großen Mengen geliefert wird) zu verwenden; man kann auch gebrannten Magnesit nur bis etwa zur Hälfte mit Salzsäure versetzen und der Cement ist gleich fertig. Auf dieses Verfahren erhielt K. W. Kunis in Reudnitz bei Leipzig ein Patent (D. R.-P. Nr. 5270[2]). Derselbe mischt gebrannten Magnesit mit allerlei Mineralien, knetet die Masse mit Salzsäure, stampft sie in Formen und preßt.

Der Entdecker des Wasserglases, Prof. v. Fuchs in München (1818), erkannte schon die Eigenschaft desselben, zu kitten und zu binden und poröse Stoffe in harte steinartige Masse zu verwandeln; seit jener Zeit ist auch das Wasserglas

---

[1]) Deutsche Industrie-Ztg. 1877, S. 396.

[2]) Dingl. pol. J. **233**, 173. Wagner's Jahresber. der chem. Technologie 1879, S. 670.

zur Herstellung künstlicher Steine benutzt worden. Unter letzteren haben die von Ransome fabricirten namentlich in England Anwendung gefunden.

Man hatte nämlich die Beobachtung gemacht, daß der grünlich-graue Sandstein, aus welchem das Londoner Parlamentsgebäude gebaut ist, einer raschen Verwitterung unterliege und sah sich genöthigt, dieser Verwitterung Einhalt zu thun. Unter den vielen Vorschlägen empfahl sich namentlich der von Ransome als praktisch, nämlich die Steinmasse an der der Verwitterung ausgesetzten Fläche mit einer Lösung von Natronwasserglas zu tränken und die so behandelte Fläche mit einer Lösung von Chlorcalcium zu bestreichen, um das kieselsaure Natron in unlöslichen kieselsauren Kalk überzuführen, welcher in die Poren des Steines eindringt, dieselben ausfüllt und so den Stein vor der Verwitterung bewahrt.

Aus dieser Beobachtung hat sich nach und nach die Fabrikation künstlicher Steine entwickelt, welche Ransome seit Jahren betreibt, indem er dergleichen Steine für solides Mauerwerk, wie auch Ornamente zum Ersatz von Steinmetzarbeiten liefert [1]).

Unter dem 9. April 1861 nahm Ransome sein erstes Patent, im Grunde danach hinausgehend, daß Kreidepulver, mit oder ohne Sandzusatz rc. mit Wasserglas gemischt, in Formen gepreßt, nach dem Trocknen mit einer Kalksalzlösung bestrichen, erhärte.

Im weiteren Verlaufe der praktischen Ausführung wurde eine wirksamere Imprägnation mit Luftverdünnung statt einfacher Imbibition oder Bestreichen eingeführt und hierfür ein zweites Patent genommen. Nach diesem ist der Proceß, wie er im Großen ausgeübt wurde, folgender: Der möglichst reine, scharfe Sand wird durch sorgfältiges Waschen von allen lockeren und lehmigen Theilchen befreit und nach dem Trocknen durch Sieben sortirt. In Dampfkesseln wird bei 4 bis 6 Atmosphären Ueberdruck aus den Feuersteinen durch starke Aetznatronlauge eine sehr concentrirte Lösung von Wasserglas erzeugt. Die Mischung von Sand oder einem ähnlichen Körper — Bimsstein, Glas rc. je nach den Zwecken — mit dem Wasserglas geschieht durch Kollermühlen auf eine sehr sorgfältige und gründliche Weise, so daß der Sand noch weiter zerkleinert wird. Auf diese Weise entsteht ein bildsamer Teig aus Wasserglas und Sand, welcher in Gyps-, Holz- oder Eisenformen gedrückt, gestampft oder gepreßt wird.

Beim Lösen aus diesen Formen ist einige Vorsicht nöthig, da die Masse ihrer Natur nach nur einen mäßigen Zusammenhang hat; derselbe ist aber ausreichend, um bei einiger Uebung selbst große Stücke transportiren zu können.

Nach einigem Betrocknen werden die geformten Gegenstände dann in ein Bad von Chlorcalcium getaucht, solcher Art, daß dieselben, auf Unterlagen ruhend, so viel als möglich frei im Bade liegen und völlig eingetaucht sind. Eine gute Luftpumpe zieht dann mittelst schröpfkopfartiger Sauger die Luft aus den Werkstücken und läßt dafür Chlorcalcium eindringen. Große Werkstücke werden zur

---

1) Dingl. pol. J. 192, 121 u. 199, 409. Wagner's Jahresber. d. chem. Techn. 1869, S. 371; 1871, S. 502 u. 1874, S. 642. Notizbl. d. deutsch. Vereins f. Fabrik. v. Ziegeln rc. 1874, S. 79 u. 1876, S. 75.

Erleichterung vollständiger Durchdringung deshalb hohl gearbeitet. Hat die Einwirkung in diesem Bade ihr praktisches Ende erreicht, was je nach der Größe der Stücke verschieden, so werden dieselben — nun schon sehr fest — zur Nachwirkung noch in ein heißes Chlorcalciumbad gebracht.

Alsdann ist noch nöthig, das von der Wechselwirkung von kieselsaurem Natron und Chlorcalcium herrührende Chlornatrium aus der Masse herauszuwaschen. Geschieht dieses nicht, so treten nach einiger Zeit Auswitterungen von Chlornatrium ein. Wo man reines fließendes Wasser zur Verfügung hat, ist der einfachste Weg, die Gegenstände in das Wasser zu legen. Sonst läßt man in mit guten Abläufen versehenen Regenkammern einen kräftigen Regen auf die Werkstücke niederrieseln und zwar je nachdem bis zu mehrwöchentlicher Dauer.

Nach Michaëlis sind nach diesem Verfahren hergestellte Steine und große Werkstücke sehr dauerhaft, vollkommen wetterbeständig und halten jeden Frost aus; auch kann denselben durch geeignete Sande jede Nuance gegeben werden, da das Bindemittel von weißer Farbe ist, wie es auch leicht ist, dieselben zu überfangen oder mit farbigen Einlagen zu formen.

Das Auswaschen ist namentlich bei Herstellung großer Blöcke ein Nachtheil des Verfahrens, da es bei sorgfältiger Ausführung viel Zeit erfordert, während bei nachlässiger Auswaschung leicht Ausblühungen von Chlornatrium entstehen, welche das Aussehen des Steines, wenn nicht dessen Festigkeit und Dauerhaftigkeit, beeinträchtigen. In Folge dessen hat sich Ransome bemüht, das Auswaschen überflüssig zu machen, und kam dadurch später zu nachstehendem Verfahren: Aus einem Gemisch von gewöhnlichem Sande, Portlandcement, gemahlenem kohlensaurem Kalk und etwas Kieselerde, welche in Aetznatron bei gewöhnlicher Temperatur löslich ist (wie sie in England z. B. bei Farnham [Farnham stone] vorkommt), stellt er mit Natronwasserglas eine Masse dar, die genügend lange plastisch bleibt, um leicht beliebige Formen auszufüllen, allmälig aber hart wird und in einen harten Stein übergeht, welcher der Hitze und Kälte widersteht, gegen Feuchtigkeit vollständig undurchdringlich ist und mit der Zeit immer mehr an Härte zunimmt.

Die hier stattfindenden chemischen Reactionen erklärt Ransome in folgender Weise[1]): Wird der Portlandcement mit Natronwasserglas zusammengebracht, so zersetzt sich letzteres der Art, daß seine Kieselsäure mit dem Kalk des Portlandcementes kieselsauren Kalk giebt, während Aetznatron frei wird. Letzteres verbindet sich aber sofort wieder mit der löslichen Kieselsäure, die einen Bestandtheil der Masse bildet, und giebt so wieder kieselsaures Natron, das wieder durch den Kalk des Portlandcementes zersetzt wird u. s. f. Würde bei jeder Zersetzung des kieselsauren Natrons die gesammte Menge Aetznatron frei, so würde der beschriebene Proceß so lange vor sich gehen, als lösliche Kieselsäure vorhanden ist, mit der sich das Aetznatron verbinden kann, oder bis kein unverbundener Kalk mehr vorhanden ist, um das kieselsaure Natron zu zersetzen. In Wirklichkeit aber scheint nicht das ganze Aetznatron jedesmal wieder frei zu werden, vielmehr scheint ein Kalknatronsilicat zu entstehen, von dem eine kleine Menge bei jeder Zersetzung

[1]) Engineering, Januar 1871. Dingl. pol. J. 199, 409.

zurückbleibt. In Folge dessen wird allmälig die ganze Menge Aetznatron gebunden.

Mittelst dieses Verfahrens stellt Ransome marmorartige Steine und durch Zusatz von Quarzstückchen und etwas Eisenoxyd granitartige her, die sich sehr gut poliren lassen.

J. Ordway in New-York bereitet ein Gemisch von 30 Thln. Quarzsand, 1 Thl. Bleioxyd und 10 Thln. Wasserglas, dem Farbstoff zugesetzt wird, preßt die Masse in Formen und setzt sie zwei Stunden lang der Rothgluth aus.

Auf eine Masse aus denselben Bestandtheilen, nur in etwas anderen Verhältnissen, hat Jul. Streuer in Blasewitz ein Patent (D. R.-P. Nr. 8011) erhalten. Quarzsand wird mit 2 bis 10 Proc. Bleioxyd gemischt. Die Masse wird mit Wasserglas befeuchtet und in Formen gepreßt.

Ott in New-York mischt Portlandcement mit Kalk und Wasserglas, setzt noch ein Gemenge von Cement und nicht über 400° erhitzten Dolomit zu, bis ein steifer Teig entsteht, der geformt und ohne Erhitzung getrocknet wird.

Nach dem Verfahren von Schellinger in New-York werden 4 Thle. grober Sand oder Kies und 1 Thl. Cement mit Kalkwasser angerührt und in Formen gebracht. Auf die Oberfläche kommt eine 0,5 cm dicke Schicht eines Gemenges aus 2 Thln. feinem Sand, 1 Thl. Cement und 1 Thl. Farbepulver. Wenn der Stein beinahe trocken ist, so wird er in verdünnte Wasserglaslösung getaucht, bis er genügende Festigkeit erlangt hat.

Zur Herstellung künstlicher Steine versetzen O. J. E. Vogelbach und J. Ch. Wieland (Philadelphia) und Ch. F. Riley (New-York) einen Brei von hydraulischem Cemente und Wasser mit einem Gemische von Sand und Moorschlamm und setzen dieser Mischung weiter eine Lösung von Natronwasserglas zu (Amer. Pat. Nr. 309 586 vom 23. December 1884).

Das Verfahren zur Herstellung künstlicher Steine von Dr. Emil Meyer (Firma H. Struck in Petersburg), D. R.-P. Nr. 7581 vom 26. Januar 1878, besteht darin, zerkleinerte natürliche Mineralien oder Sand durch ein Bindemittel zu einem Stück in Formen zu vereinigen, dem so hergestellten Steine die Eigenschaften des natürlichen zu ertheilen und so das Aushauen aus dem natürlichen Block zu umgehen. Das hierzu geeignete Bindemittel ist kieselsaures Kali oder Natron mit Kalkstein oder Kreide, fein gemahlenem Flußspath oder Feldspath, phosphorsaurem Kalk oder gebranntem Galmei. Je nach dem Zweck, dem der herzustellende Stein dienen soll, wird die Bindemasse nach verschiedenen Gewichtstheilen zubereitet. Dieselben sind:

1. Für künstlichen Marmor:

Gebrochene oder zerkleinerte Mineralien . .	280	Gewthle.
Gemahlener Kalkstein oder Kreide	140	„
Gebrannter und gemahlener Galmei . . .	5	„
„ „ „ Feldspath . .	3	„
Gemahlener Flußspath	2	„
Phosphorsaurer Kalk	2	„
Kieselsaures Kali	40	„

2. Für Bausteine, Sandsteinquader ꝛc.:

Gebrochener Stein oder Sand	4000	Maßthle.
Kreide oder Kalkstein	528	„
Gebrannter Thon	60	„
Kieselsaures Natron (je nach Material)	130—150	„

Bei der Fabrikation werden zuerst die trockenen Materialien innig gemengt und dann wird das kieselsaure Kali oder Natron schnell zugesetzt, gut durchgerührt und die Masse in die Form gepreßt. Die geformten Steine werden sogleich aus der Form genommen und unter langsam bis 50° C. ansteigender Temperatur getrocknet.

Als Bindemittel organischer Natur wird vorzugsweise Theer, dann Asphalt, Harz ꝛc. benutzt.

James Sykes Wethered in New-York stellte Concretblöcke für Pflaster und Bauzwecke, besonders für submarine Constructionen her aus gebranntem Kalkstein, Hohofenschlacke und Asphalt; es werden 80 Proc. gebrannter Kalkstein oder Hohofenschlacke oder ein Gemisch von beiden mit 20 Proc. Asphalt, der mit 8 bis 10 Proc. Mineralöl versetzt ist, innig gemischt; dadurch kann der flüssige Asphalt leicht in die Poren eindringen. Die Mischung wird in horizontalen eisernen Cylindern vorgenommen, die um eine mit Armen versehene Achse rotiren und erwärmt werden können. Das Material wird dann in Blöcke beliebiger Form gepreßt.

Hutchins in Ann Arbor, Michigan, mischt 300 kg Sand oder Kies, 75 kg Harz, 20 Liter Holztheer und erhitzt nach Zusatz einer gewissen Menge Gyps; diese Masse dient zu Pflasterungen.

John Jeyes in Plaistow pulvert nach dem englischen Patent trockenes Harz und Pech und mischt mit Sand. Vor dem Gebrauch wird die Masse mit Schieferpulver gemischt, das mit Petroleum, Naphta und anderen Kohlenwasserstoffen reichlich durchtränkt ist.

Zur Herstellung künstlicher Steinmassen wendet O. Löw in München Kolophonium und seine Verbindungen mit Kalk und Magnesia als Bindemittel an (D. R.-P. Nr. 6637 vom 27. September 1878 [1]). Sand oder ein Gemenge von Sand und fein gepulvertem Thon, Gyps oder Kreide wird zuerst bei höherer Temperatur getrocknet, dann wird feingepulverter Aetzkalk und Kolophonium zugesetzt und die Mischung noch heiß in Formen gedrückt. Für Herstellung von größeren Steinblöcken, von Grabmonumenten, Säulen, Pfeilern und Randsteinen empfiehlt sich gröberes Material, für Pflasterungen und Röhren großen Kalibers feineres und für Kunstsachen ganz feiner Sand oder Straßenstaub. Für Pflasterungen ist auch ein geringer Zusatz von Thon zweckmäßig. Je nach der Gesteinsart, die man nachahmen will, kann man auch verschiedene Farbstoffe zusetzen. So wird z. B. eine Sandsteinimitation aus 80 Proc. feinem Sand, 17 Proc. Kolophonium, 3 Proc. gebranntem Kalk, eine Marmorimitation (fleischfarben) aus 28 Thln. grobem weißem Sand, 42 Thln. Kreide, 1 Thl. Ultramarin-

[1]) Wagner's Jahresb. der chem. Techn. 1879, S. 671. Notizbl. d. deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln ꝛc. 1880, S. 153.

blau, 1 Thl. Zinnober, 24 Thln. Kolophonium und 4 Thln. gebranntem Kalk hergestellt.

An Härte giebt der künstliche Sandstein und Marmor den Naturproducten kaum etwas nach und gegen Atmosphärilien soll derselbe sehr widerstandsfähig sein. Auch ist derselbe undurchdringlich für Wasser, nur die Nachgiebigkeit und Weiche bei hohen Temperaturen setzt der Verwendbarkeit für specielle Zwecke, z. B. für Mauern bei Wohnungsbauten, eine Grenze; dagegen eignet sich die Masse zur Anfertigung von Wasserleitungsröhren, zu Pflasterungen feuchter Räume.

Von großer Wichtigkeit ist der Kalkzusatz, indem dadurch eine chemische Verbindung herbeigeführt wird, welche geringere Sprödigkeit und höheren Schmelzpunkt als das Kolophonium besitzt. Letzteres wird schon bei 70° weich und ist in der Kälte sehr spröde. Kolophonium besteht aus zwei Säuren, Pinin- und Sylvinsäure; diese liefern mit Aetzkalk Verbindungen, deren Schmelzpunkte über 200° liegen und in Wasser unlöslich sind. Der Kalkzusatz muß größer sein als die Theorie verlangt, etwa 1 zu 3, damit auch bei nicht ganz homogener Mischung Vereinigung eintrete. Aber auch wenn nur wenig Harz in die Kalkverbindung übergegangen, wird der Schmelzpunkt um 40° hinaufgerückt und die Sprödigkeit nimmt ab. Die chemische Vereinigung soll erst in der Form vor sich gehen, nicht im Mischgefäß, da die Masse sonst nicht zu pressen ist, die Form wird 15 bis 20 Minuten lang auf einer Temperatur von 160° erhalten. Der Kalk kann auch durch Magnesia, Baryt und Strontian und bis zu einem gewissen Grade durch Zinkoxyd vertreten werden.

Zur Herstellung künstlicher Fußbodenplatten (Mühlsteine, Schleifsteine ꝛc.) wird nach A. Simon und B. Petit in Paris (D. R.-P. Nr. 20 744) ein Gemisch von Asphalt, Schwefel und Gummilack geschmolzen, mit entsprechenden Mineralpulvern gemischt und durch hydraulische Pressen in Formen gepreßt.

A. v. Berkel in Ehrenfeld bei Köln (D. R.-P. Nr. 11 115) löscht zur Herstellung von Steinen, Platten, Röhren oder Dachziegeln gut gebrannten Kalk mit Wasser zu Pulver, welches mit Sand und der erforderlichen Menge Wasser gemischt entsprechend geformt wird. Man läßt die Stücke an der Luft abtrocknen und bringt sie dann in einen Kessel, welcher auf höchstens 120° erwärmt wird, während man die Luft auspumpt, um innerhalb einer halben bis höchstens einer Stunde das nicht gebundene Wasser zu entfernen. Nun wird auf etwa 150° erwärmter Theer, Asphalt u. dergl. eingelassen, 0,5 Atmosphären Ueberdruck gegeben, die überschüssige Masse ablaufen gelassen und nach dem Erkalten das fertige Fabrikat herausgenommen. In gleicher Weise sollen aus gebranntem Kalk und Thon hergestellte Steine behandelt werden.

Zur Herstellung von künstlichen Steinen wird nach F. A. Richter in Rudolstadt (D. R.-P. Nr. 13 770) ein Gemisch von gleichen Theilen Sand und Kreide und etwas Farbe (Ocker, Englischroth, Kienruß und Anilinfarben) durch Zusatz von $1/2$ Thl. Firniß unter starkem Umrühren zu einem feuchten Pulver verarbeitet, in Formen gepreßt und etwa acht Tage bei einer Temperatur von 100 bis 150° getrocknet. Diese Steine sollen besonders als Bausteine für Kinderspielzeug verwendet werden.

In der Neuzeit hat man sich auch vielfach mit Versuchen beschäftigt, aus den Hohofenschlacken Mauersteine herzustellen, und zwar aus dem Grunde, um der Beengung der Hüttenwerke durch die täglich wachsenden Berge von Schlacken zu begegnen.

Die ersten Versuche, Schlackensteine anzufertigen[1]), begannen damit, daß man beim Holzkohlenhohofen die Schlacke mit einer Kelle aus dem Vorherd schöpfte, in eine Form drückte und in derselben langsam abkühlen ließ. Da der Vorherd, um Abkühlung zu vermeiden, mit Kohlenstaub bedeckt war, mischte sich die Schlacke mit einem kleinen Theil desselben, was eine theilweise Entglasung in der Form veranlaßte. Bei den Coakshohöfen mißlang dieser Versuch gänzlich, indem die Steine durch die Entweichung der Gase bei der Vermischung mit Steinkohlenklein zu porös wurden; auch nach der Substitution von Sand- und Coaksstaub blieben die Steine noch so zerbrechlich, daß sie noch in Oefen langsam abgekühlt werden mußten. Dieser Proceß wird zu Königshütte in Schlesien ausgeführt und dabei ein vorzügliches Baumaterial erzielt. Die Schlacke läuft aus dem Hohofen in ein halbrundes Bassin, welches auf Rädern ruht, und dessen Boden mit Sand und Coaksstaub bis zu 3 cm Dicke bedeckt ist; der Wagen wird dann schnell nach dem Punkte hingefahren, wo die Steine angefertigt werden sollen. Hier wird die Schlacke durch ein gekrümmtes eisernes Werkzeug so lange mit dem Sand- und Coaksstaub gemischt, bis die Entweichung der Gase beinahe aufgehört und die Masse Consistenz und Zähigkeit genug erhalten hat. Mit demselben Werkzeug wird sie dann in eine Form gedrückt, die mit einem an Charnieren befestigten Deckel versehen ist, der, sobald die Entweichung der Gase beendet, niedergelassen und damit die Schlacke gepreßt wird. Die rothwarmen Steine werden in den Kühlofen gebracht, mit Coaksstaub bedeckt und bis zur völligen Erkaltung darin gelassen, die etwa 3 bis 4 Tage Zeit erfordert. Diese Steine sind rauh an ihrer Oberfläche, erfordern wegen ihres größeren Formats nicht mehr Mörtel als die gewöhnlichen Backsteine und da sie nicht geneigt sind, Feuchtigkeit aufzunehmen, eignen sie sich besonders zu Fundamenten.

Auf Neuerungen an Vorrichtungen zum Kühlen von Schlackengußsteinen erhielt Charles James Dobbs, Middlesbrough (Grafschaft York in England) ein Patent (D. R.-P. Nr. 28 648 vom 4. Januar 1884). Diese sogenannten Neuerungen bestehen in nichts anderem, als daß die Steine oder Ziegel gleich nach der Erhärtung der äußeren Kruste und während der innere Theil noch im flüssigen Zustande ist, in einen geschlossenen Raum gebracht werden, welcher nicht weiter geheizt wird. Dadurch erhält man ein vollkommen zähes Product.

Aus Eisenhohofenschlacken läßt sich auch ein sehr leichtes und poröses Baumaterial dadurch gewinnen, daß die abgestochene Schlacke zuerst in einen Vorsumpf und aus diesem sodann plötzlich in einen zweiten, theilweise mit Wasser gefüllten Sumpf eingelassen wird. Hierdurch wird die Schlacke in eine zellige bimssteinartige Masse umgewandelt. Die erkaltete Masse kann dann in ziemlich regel-

---

[1]) T. Egleston, Dingl. pol. J. 206, 457. Wagner's Jahresb. der chem. Technol. 1873, S. 19.

mäßige Stücke mit der Säge zerschnitten werden. Solche poröse Schlacken, wie sie auf dem Hüttenwerke zu Bergen in Bayern hergestellt werden, fanden z. B. an der Rosenheim-Salzburger Bahn zur Herstellung von Hochbauten (Bahnwärterhäuschen ꝛc.) vielfach Verwendung. Für stark belastete Mauern ist deren Anwendung ausgeschlossen[1]).

Die durch Gießen der noch flüssigen Schlacke erhaltenen Bausteine haben zwar eine große Festigkeit, sind jedoch sehr unansehnlich und erwiesen sich wegen ihrer Dichte, oder vielmehr Undurchlässigkeit für Luft und Feuchtigkeit, zur Benutzung bei Hochbauten als ungeeignet, können daher nur zu Futtermauern und Fundamentmauerwerk verwendet werden.

Im Jahre 1859 schlug die Georgs-Marienhütte zu Osnabrück ein neues Verfahren ein, nämlich die Darstellung von Schlackensteinen aus pulverisirter Schlacke (Schlackensand) und gelöschtem Kalk. Hierdurch wurde zwar die eben berührte Fehlerhaftigkeit der Schlackensteine beseitigt, doch aber wenig gewonnen, weil bei den hohen Kosten der Zertrümmerung der Schlacken sich die Fabrikationskosten der Schlackensteine als zu hoch herausstellten. Erst später, nachdem das Verfahren der sogenannten Granulirung der Schlacke durch Einleitung derselben in einen rasch fließenden Wasserstrom eingeführt wurde, stellten sich die Productionskosten niedrig genug, um 1870 die Versuche mit Erfolg wieder aufnehmen zu können. Jetzt hat sich die Fabrikation von Schlackensteinen oder Schlackenziegeln, welche als ein besonderes Geschäft unter der Firma Lürmann, Meyer & Witting, Traß- und Steinfabrik in Osnabrück, betrieben wird, zu einer hohen Blüthe aufgeschwungen, so daß bis 1875 die Production an Schlackensteinen in Ziegelformat auf ca. 5 Millionen Stück stieg[2]).

Von Osnabrück aus hat sich 1875 die Fabrikation nach Haardt im Siegener Lande verpflanzt, wo von Lück auf der Rolandshütte die Production begonnen wurde. Zur Fabrikation von 1000 Stück Schlackensteinen, im Format der Normalziegel hergestellt und die etwa 3000 kg Gewicht haben, werden dort 2650 kg granulirter Schlackensand und etwa 350 kg Bockumer Wasserkalk, zu Kalkmilch aufgelöst, genommen; die Stücke werden unter der Presse einem hohen Drucke ausgesetzt und bedürfen dann etwa 6 Monate Zeit, um an der Luft zu trocknen. Die Festigkeit der Schlackensteine ist an zwei Proben zu 148,3 und bezw. 186,2 kg pro Quadratcentimeter ermittelt worden[3]).

Pauli verwendet die Hohofenschlacke in der Weise, daß er in die flüssige Schlacke Gebläsewind bläst, wobei sie in eine wollige Masse verwandelt wird, die man fein mahlt und mit Kalk mengt. Aus der Masse werden Steine geformt, welche an der Luft getrocknet werden[4]).

Nach H. D. Elbers wird fein vertheilte Hohofenschlacke bei Rothgluth einem Luftstrom ausgesetzt, damit sie ihren Schwefelgehalt als Schwefligsäure ent-

---

1) Zeitschr. d. Archit.- u. Ing.-Vereins in Hannover 1874, S. 150.

2) Lürmann, Notizbl. d. deutsch. Vereins f. Fabr. v. Ziegeln ꝛc. 1880, S. 288.

3) Notizbl. des deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln ꝛc. 1874, S. 261; 1880, S. 151. Deutsche Bauzeitung 1881, S. 435.

4) Berg- u. Hüttenmännische Ztg. 1865, S. 44.

weichen läßt; die geröstete Schlacke, mit Cement oder Kalk gemischt, wird dann zur Herstellung von Kunststeinen, Reliefs 2c. verwendet [1]).

Auch andere Abfallproducte sind zur Darstellung von künstlichen Steinen benutzt worden. So hat man aus dem Gaskalk, welcher vielen Gasanstalten ein völlig werthloser Ballast ist, Backsteine ohne weiteren Zusatz verfertigt, welche man dann an der Luft gut austrocknen ließ [2]).

Von Thomas wurden künstliche Steine aus den Sodarückständen auf die Weise dargestellt, daß er dieselben mit gerösteten Pyriten innig mengte, das Gemenge mit concentrirter Wasserglaslösung zu einem Brei anrührte und daraus Ziegel formte; dieselben sollen nach seiner Angabe nach dem Trocknen steinhart werden und dem Wasser widerstehen [3]).

Pierre Py in Meurad (Canton Marengo, Algier) verfertigt künstliche Steine aus Rückständen von der Kaustificirung der Seifensiederlauge (D. R.-P. Nr. 18 420 vom 18. October 1881). Die Rückstände werden unter hydraulischem Druck zu Bausteinen gepreßt, wobei für die Seifenfabrikanten benutzbare Aetzlauge abläuft. Die Steine läßt man zur Erhärtung einige Tage an der Luft liegen. Steine zum Pflastern der Fußböden erhält man, indem man die Rückstände mit etwas Cement anmacht und preßt.

---

[1]) Wagner's Jahresber. der chem. Technol. 1883, S. 654.
[2]) Ilgen in Grünstadt, Polyt. Centralbl. 1867, S. 1224.
[3]) Wagner's Jahresber. der chem. Technol. 1864, S. 351.

V.

Stereochromie, Mineralmalerei und Sgraffito.

Die Kunst, mit Wasserfarben Bilder auf noch feuchten Kalkwänden herzustellen, war schon den alten Römern und Griechen bekannt und dieselben bedienten sich dieser Methode auch zur Herstellung von Wandgemälden. Das Bindemittel für die Farben ist bei dieser Malart der kohlensaure Kalk, welcher sich aus dem Aetzkalk des Mörtels durch die Einwirkung der in der Luft enthaltenen Kohlensäure an der Oberfläche des Bildes bildet, weswegen diese Art der Wandmalerei als Kalk- oder Freskomalerei (von dem italienischen „al fresco“, d. i. auf frischem sc. Kalk) bezeichnet wird.

Der Werth der Freskomalerei liegt, außer der festen Verbindung der Farben mit der Mauer, in dem ihr durch das Häutchen von kohlensaurem Kalk gewordenen eigenen Licht, das den Gemälden ein mattes und duftiges Ansehen giebt. Dagegen erfordert die technische Ausführung von Freskogemälden von dem Künstler große Uebung und Gewandtheit. Es haftet nämlich nur derjenige Strich bleibend, der auf den noch nassen frischen Bewurf gebracht wird und zugleich mit ihm erhärtet. Der Maler kann nur so viel malen, als gerade frischer Grund gemacht ist; es darf daher der Malgrund nur stückweise aufgetragen werden, und zwar nur so viel, als der Künstler in 6 bis 8 Stunden zu bemalen im Stande ist. Will der Künstler die Arbeit unterbrechen, so muß der noch nicht bemalte Grund um das fertige Gemäldestück glatt abgeschnitten und am nächsten Tage wieder frischer Grund aufgetragen werden. Dazu kommt noch, daß die Malerei naß viel dunkler aussieht, als nach dem Austrocknen und daß dieses Austrocknen selbst nie mit Gewißheit im Voraus bestimmt werden kann. Da nun ein Freskobild, wenn die Oberfläche einmal trocken ist, nicht mehr retouchirt werden kann, so sieht sich dann der Künstler, wenn er Verfehltes verbessern will, genöthigt, das bereits Gemalte wieder herunter zu schlagen.

Aber auch in Bezug auf die Dauerhaftigkeit entsprach die Freskomalerei den an sie zu stellenden Anforderungen wenig. Wenn es auch keinem Zweifel unterliegt, daß Freskogemälde in südlichen Ländern, z. B. in Italien, weit länger sich gut erhalten, so haben doch oftmals gemachte Proben ergeben, daß in unserem Klima Freskogemälde von keiner großen Dauer sind.

Durch die öfteren Klagen, welche über die Unvollkommenheit der Freskomalerei und insbesondere darüber gemacht wurden, daß sie in unserem Klima nicht aushalte, wurde v. Fuchs auf den Gedanken gebracht, ob nicht vielleicht durch das Wasserglas die Farben auf den Mauerwänden besser und dauerhafter gebunden werden könnten, als durch den Kalk. Dieser Gedanke führte zu Versuchen, die v. Fuchs zuerst im Verein mit Prof. Schlotthauer ausführte, welche aber keinen günstigen Erfolg hatten. Die Schwierigkeiten, welche sich bei der Ausführung zeigten, wurden erst gehoben durch die lebhafte Theilnahme und unverdrossene Mitwirkung des Directors v. Kaulbach[1]).

v. Fuchs nannte diese neue Malart Stereochromie (von στερεός, fest, dauerhaft und χρῶμα, Farbe), worunter also diejenige Malart zu verstehen ist, bei welcher das Wasserglas das Bindemittel der Farben und ihrer Unterlagen bildet. Es ist das eine der vorzüglichsten Nutzanwendungen des Wasserglases, da es in hohem Grade geeignet ist, die Farben gut zu binden und den Gemälden große Dauerhaftigkeit zu geben. Das Wasserglas verliert nämlich, in Berührung mit porösen Körpern gebracht, gänzlich die Fähigkeit, sich wieder in Wasser zu lösen, welche ihm nur wieder gegeben werden kann, wenn man es zuvor der Glühhitze aussetzt.

Von wesentlichem Einfluß sowohl für die Herstellung als auch für die Haltbarkeit von stereochromischen Bildern ist ein geeigneter Malgrund; es wird von demselben verlangt, daß er eine durch und durch gleiche steinartige Festigkeit besitzt, ferner, daß er mit der Mauer innig und gleichsam unzertrennbar verbunden ist, sowie daß er gut und überall gleichmäßig einsaugt.

Zu den ersten größeren stereochromischen Bildern wendete man einen zuerst ausgetrockneten Kalkgrund an, welcher ähnlich wie der Grund zu Freskogemälden hergestellt wurde, dem man aber das dünne Kalkhäutchen, welches die Freskofarben incrustirt und bindet, durch Abreiben genommen und durch Imprägnirung mit Wasserglaslösung wieder eine bemerkenswerthe Festigkeit gegeben hatte. Auf solchen Grund wurden z. B. die großen Wandgemälde im Treppenhause des neuen Museums in Berlin stereochromisch ausgeführt.

Später wurde von v. Fuchs ein Wasserglasmörtel als Malgrund in Vorschlag gebracht, welcher auch bei mehreren stereochromischen Bildern zur Anwendung kam. Dieser Wasserglasmörtel wurde dadurch dargestellt, daß man pulverisirten Marmor oder Dolomit (von denen das feinste Pulver mittelst eines feinen Siebes entfernt wurde) oder Quarzsand mit etwas an der Luft zerfallenem Kalk und mit Wasserglaslösung zu einer Masse von gewöhnlicher Mörtelconsistenz anmachte, diesen auf die zu malende Fläche ca. 0,5 cm dick auftrug und nach

[1]) Dingl. pol. J. **142**, 365.

einigen Tagen, nachdem er gut ausgetrocknet war, noch mit Wasserglaslösung, welche mit gleichen Theilen Wasser verdünnt war, gehörig imprägnirte.

Bei Anwendung der beiden beschriebenen Malgründe kam es vor, daß oft zu viel Wasserglas verwendet oder daß dasselbe ungleich auf der Wandfläche vertheilt wurde, so daß der ganze Malgrund oder einige Stellen desselben wenig oder gar nicht mehr einsaugten, wodurch das Malen sehr erschwert wurde.

Um diesen Uebelstand zu vermeiden, wurde von v. Pettenkofer [1]) ein Malgrund aus Cement und Sand ohne Zusatz von Wasserglas, von welchem nach eingetretener Erhärtung nur das inkrustirende Kalkhäutchen entfernt wird, vorgeschlagen. Der Cementgrund erlangt eine viel größere durch und durch gehende Festigkeit als der Freskogrund und der Wasserglasmörtel; auch besitzt er eine viel größere Saugkraft für Flüssigkeiten, wodurch also das Malen und das Fixiren der Bilder wesentlich erleichtert wird. Das erste größere Bild, bei dem der Cementgrund zur Anwendung kam, ist das große Wandgemälde, welches Director v. Kaulbach im germanischen Museum zu Nürnberg (König Otto in der Gruft Karl's des Großen zu Aachen) ausführte.

Der einzige Einwand, welcher gegen den Cementgrund von einigen Künstlern vorgebracht wurde, war, daß derselbe nicht weiß sei, wodurch für sie das Malen, da sie an den weißen Freskogrund gewohnt sind, erschwert wird. Dadurch wurde der Historienmaler Julius Schweizer veranlaßt, Versuche anzustellen, einen weißen Malgrund herzustellen. Dieser Schweizer'sche Malgrund besteht aus kohlensaurem Kalk (Kreide oder Marmorpulver), Cement und gewaschenem Quarzsand, vermischt mit einer verdünnten Kaliwasserglaslösung; von letzterer wird so viel zugesetzt, daß die Masse mit einem Pinsel aufgetragen werden kann. Die Menge des kohlensauren Kalkes und Quarzsandes zusammen beträgt das Drei- bis Vierfache vom Volumen des Cementes, weil sonst, da der Cement sich mit Wasserglas umsetzt und sich zusammenzieht, leicht Sprünge im Malgrunde entstehen. Da das Gemisch von kohlensaurem Kalk, Quarz und Cement mit Wasserglaslösung angerührt schnell erstarrt, kann man nur immer kleine Quantitäten des Malgrundes anmachen, welche dann auf den Mörtelgrund schnell aufgetragen werden müssen. Der Schweizer'sche Malgrund kann auf gewöhnlichem Mörtel- oder auf Cementgrund aufgetragen werden. Derselbe wurde auch bei Ausführung mehrerer größerer stereochromischer Bilder angewendet, z. B. an Bildern an der Außenseite am Athenäum in München [2]).

Ist der Malgrund fertig gestellt, so kann das Malen beginnen, indem die Farben bloß mit reinem Wasser kunstmäßig aufgetragen werden. Dann ist weiter nichts mehr nöthig, als die Farben gehörig zu fixiren, wozu das Fixirungswasserglas angewendet wird, welches nach v. Fuchs aus einer Mischung von vollständig gesättigtem Kali- und Natronwasserglas mit etwas überschüssigem Alkali bestand. Man beobachtete aber an allen damit fixirten Bildern nach dem Austrocknen Auswitterungen von Natriumcarbonat, wodurch die Bilder trübe wurden. Diese Auswitterungen schaden allerdings den Gemälden nicht im

[1]) Augsburger Allgem. Ztg. 1861. Dez. 16. u. 17.
[2]) Dingl. pol. J. 201, 541. Chem. Centralbl. 1871, S. 685.

mindesten und können leicht mittelst eines nassen Schwammes wieder entfernt werden.

Um diesem Uebelstande zu begegnen, hat v. Pettenkofer zuerst reines Kaliwasserglas mit etwas überschüssigem Kali angewendet, bei dessen Anwendung nie eine Auswitterung eintritt. Der Zusatz von Kali ist aber nothwendig, da sich die Anwendung eines vollkommen mit Kieselsäure gesättigten Wasserglases zum Fixiren sehr nachtheilig erwiesen hat, was darin seinen Grund hat, daß dieses Wasserglas wegen seiner schnell eintretenden theilweisen Zersetzung die Bilder gewöhnlich unrein und fleckig macht; durch den größeren Alkaligehalt wird die schnelle Zersetzung verhindert.

Da aber die Farben nur sehr schwach haften und den Gebrauch des Pinsels nicht gestatten, so muß das Fixirungswasserglas in Form eines feinen Regens oder Nebels auf das Gemälde hingespritzt werden, und zwar anfangs sehr behutsam, damit die Farben nicht aus ihrer Lage kommen und in einander fließen. Für diesen Zweck hat Prof. Schlotthauer eine Wasserstaubspritze construirt, welche von v. Pettenkofer in der Art verbessert wurde, daß die Compression der Luft, welche die Flüssigkeit mit fortreißt und zerstäubt, nicht mehr mit einem Kolben und den Händen, sondern mit einem Blasebalge und dem Fuße bewirkt wird, wodurch das sonst sehr ermüdende Geschäft des Spritzens eine leichte und bequeme Arbeit geworden ist. Das Fixiren wird unter abwechselndem Anspritzen und Austrocknen so lange fortgesetzt, bis die Farben fest haften. Warme und trockene Luft, überhaupt Steigerung der Verdunstung beim Fixiren, wirkt sehr beschleunigend auf das Festwerden.

Als praktisches Kennzeichen, wann die Fixirung den nöthigen Grad erreicht hat, dient das Gefühl, welches auf die Finger der Hand hervorgebracht wird, wenn man damit die bemalte und fixirte ausgetrocknete Bildfläche überfährt. So lange und wo sich die Fläche wie Mehl oder Pulver anfühlt, ist noch Wasserglas nöthig, sobald sich aber die Oberfläche rauh und mehr sandig anfühlt, ist die Fixation vollendet. Sobald dieser Zeitpunkt eingetreten ist, lassen sich die Bilder mit einem trockenen breiten Borstenpinsel bearbeiten, und darauf ebenso mit einem breiten nassen Pinsel in allen Richtungen übergehen, ertragen somit das Abstäuben und Abwaschen, ohne daß davon eine Wirkung sichtbar bliebe.

Bei der Stereochromie darf nie eine glänzende Stelle zum Vorschein kommen, das Wasserglas muß vom Grunde und von den Farben gänzlich absorbirt werden und es darf auf der Oberfläche nie stehen bleiben und vertrocknen.

Als stereochromische Farben werden verwendet: Zinkweiß, Chromgrün, Kobaltgrün, Chromroth, Eisenoxyd (hellroth, dunkelroth, violett und braun), Cadmiumgelb, Ultramarin, Hellocker, Dunkelocker, Terra di Sienna, Umbraun, Münchenerschwarz (Kohle).

Farben aus dem organischen Reiche stammend sind nicht zulässig, weil jede früher oder später verbleicht. Auch der Zinnober ist nicht anwendbar, weil er im Lichte braun und zuletzt ganz schwarz wird.

Die Farben sollen möglichst fein gerieben werden, weil sie dadurch geschmeidiger werden und besser haften. Nur das Chromroth macht eine Ausnahme, weil es durch zu lange fortgesetztes Reiben gelblich wird. Kobaltblau zeigt sich

nach dem Fixiren merklich heller und der Hellocker viel dunkler. Ueberhaupt verändert sich der Farbenton durch das Fixiren mehr oder weniger, das Bild erscheint nachher etwas dunkler, so zu sagen ernster, was sich allerdings in der Folge wieder verliert.

Die Farben sollen möglichst rein sein, insbesondere nichts enthalten, was sich mit dem Wasserglas nicht verträgt, d. i. eine Zersetzung bewirkt oder es zum Stocken, Coaguliren bringt, z. B. Gyps ꝛc.

Die Stereochromie bietet, gegenüber der Freskomalerei, dem Künstler nicht unbedeutende Vortheile dar; er hat das Malen ganz in der Gewalt und ist vollständig Herr des Materials, während er bei der Freskomalerei in der Gewalt dieser Malart ist.

Der Künstler kann seine Arbeit nach Willkür unterbrechen und wieder fortsetzen nach kürzerer oder längerer Zeit, er kann das Gemälde vor dem Fixiren, so oft er es für gut findet, übergehen. Hierdurch wird die feinste Betonung, das feinste Abwägen von Licht und Dunkel, die Stimmung der Farben und damit die größte Vollendung des Bildes erreichbar.

Die Restauration eines stereochromischen Gemäldes bietet gleichfalls keine technische Schwierigkeit dar, man malt und fixirt wieder mit Wasserglas auf dem alten Bilde, wie auf einem neuen Grunde.

Ein weiterer Vorzug besteht in dem Malgrunde, wodurch stereochromische Bilder fähig sind, unter jedem Himmelsstriche auszuhalten, und vielen sonst schädlichen Einflüssen, Rauch, sauren Dämpfen, dem grellsten Wechsel der Temperatur, Hagel ꝛc. zu widerstehen, welche den Fresken verderblich werden.

Es kann allerdings nicht bestritten werden und die Praxis hat es gezeigt, daß manche in der Neuzeit stereochromisch gemalte Gemälde Schaden gelitten haben und wenigstens stellenweise schon jetzt zu Grunde gegangen sind; die Hauptursache des so frühen Verfalles liegt wohl hauptsächlich darin, daß bei Ausführung derselben nicht mit der nöthigen Sachkenntniß und Vorsicht zu Werke gegangen wurde.

Bemerkenswerth ist, daß es immer gewisse Farben sind, welche zuerst zerstört werden, und sich staubartig oder blätterig ablösen, so z. B. Ultramarin, Umbra, Schwarz. Man sieht Gemälde, an denen das Ganze sonst vortrefflich erhalten, einzelne Partien aber, z. B. mit Ultramarin ausgeführte Draperien, schon vollständig verwittert und abgefallen sind.

Auf eine neue **Monumentalmalerei** erhielt der Chemiker **Adolf Keim** in München ein Patent (D. R.-P. Nr. 4315). Das Verfahren, dessen Ausbildung und praktische Erprobung den Erfinder bereits mehrere Jahre hindurch beschäftigt hat, fußt auf der von **v. Fuchs** und **Schlotthauer** erfundenen und unter Mitwirkung von **v. Kaulbach**, **Echter** u. A. in die Praxis eingeführten **Stereochromie**, deren Mängel in Bezug auf die Dauerhaftigkeit der danach hergestellten Gemälde es durch wesentliche Abänderungen zu beseitigen sucht.

Diese neue Malart wurde von dem Erfinder[1]) **Mineralmalerei** genannt, und zwar aus dem Grunde, weil bei Herstellung von Wandgemälden nach dieser

[1]) Thonind.-Ztg. 1882, S. 351. **Keim**, Die Mineralmalerei. Wien, Hartleben's Verlag, 1881.

Methode dieselben Stoffe zur Verwendung kommen und ähnliche chemische Verbindungen erzielt werden, wie selbe bei Bildung und in der Zusammensetzung einer großen Anzahl natürlicher farbloser und farbiger Mineralien, nämlich in den Silicaten auf einander wirkten, resp. in denselben vorhanden sind.

Keim's Verbesserungen erstrecken sich sowohl auf die Herstellung des Untergrundes nebst dem eigentlichen Malgrund, wie auf das Malen selber mit Einschluß der Präparirung der Farben und auf das schließliche Fixiren des fertigen Gemäldes.

Der **Untergrund** ist der auch bei der Stereochromie zuerst verwendete, aus gelöschtem Kalk, Sand und Wasser gemischte Kalkmörtel, der nach dem Trocknen mit rauhem Sandstein abgerieben und dann mit Kaliwasserglaslösung imprägnirt wird. Bevor man ihn aufträgt, hat bei Neubauten das Mauerwerk vollständig auszutrocknen, während bei älteren Gebäuden die betreffende Stelle bis auf den Stein bloß zu legen und in den Fugen auszukratzen ist.

Der eigentliche **Malgrund** wird aus 4 Maßtheilen Quarzsand, $3^1/_2$ Thln. Marmorsand, $^1/_2$ Thl. Infusorienerde und 1 Thl. Aetzkalk zusammengesetzt, den man mit **destillirtem Wasser** anrührt. Es ergiebt sich daraus eine Masse, die durch die Beimischung von kohlensaurem Kalk in der krystallinischen Form des Marmorsandes erheblich gefestigt wird und zugleich mittelst der gleichförmig rauhen und porösen Beschaffenheit die Farben völlig in sich einsaugt. Durch den Zusatz fein zertheilter Kieselsäure in Gestalt der Infusorienerde wird ferner die Bildung von Kalksilicaten befördert, und damit die Härte und Widerstandsfähigkeit des Materials gegen chemische und mechanische Einwirkungen noch weiter erhöht.

Dieser Malgrund wird hierauf nach dem Austrocknen mit Kieselfluorwasserstoffsäure durchtränkt, die den an der Oberfläche entstandenen kohlensauren Kalk zerstört und noch erfolgreicher als das bloße Abreiben mit Sandstein gleichsam die Poren der Masse öffnet, die nun die aufzutragenden Farben in sich aufsaugen soll.

Die **Farben**, die bei der Stereochromie einfach mit Wasser angerieben werden, erhalten nach dem **Keim'schen** Verfahren bei der Zubereitung je nach ihrer Natur **Zusätze von Kieselerde-, Thonerde- und Bittererdehydrat**, die darauf berechnet sind, eine Silicatbildung der Bestandtheile des Farbkörpers unter sich und mit den Materialien des Obergrundes zu befördern und durch dieses Zusammenwachsen der Masse eine erhöhte Sicherheit und Dauerhaftigkeit verbürgen.

Um ferner dem Uebelstande des Nachdunkelns oder Verblassens einzelner Töne unter der Einwirkung des schließlich zur Fixirung dienenden Wasserglases von vornherein entgegen zu wirken, werden die Farben überdies noch vor dem Gebrauch mit Kali oder Ammoniak digerirt. Sie erhalten dadurch von Haus aus die sonst erst durch die Berührung mit dem Fixirungsmittel entstehende Nüance und überheben damit den Maler der störenden Schwierigkeit, während des Arbeitens die definitive Gesammtwirkung des Kolorits nur an der Hand einer Farbenscala berechnen zu können, statt sie direct in dem Bilde selber fortwährend vor sich zu haben. Dem Künstler erwächst übrigens aus dieser complicirteren Präparirung keinerlei Mühe, da ihm die Farben gleich den Oelfarben in dickem,

breiigem Zustande zum Gebrauche fertig geliefert werden. Sie sind von ihm nur in entsprechender Weise mit Wasser zu verdünnen und naß in Naß auf dem gut angefeuchteten Mauergrunde aufzutragen; es lassen sich hierbei Correcturen jederzeit nach Belieben bewerkstelligen.

Als Farben für die Mineralmalerei sind verwendbar: Barytweiß, Zinkweiß, Champagnerkreide, chromsaurer Baryt, Neapelgelb, Cadmiumgelb, Chromgelb, Ocker, heller und dunkler, Goldocker, gebrannt und ungebrannt, Terra di Sienna, gebrannt und ungebrannt, Englischroth, Morellensalz, Umbraun, Chromroth, hell und dunkel, Chromoxydgrün, Ultramaringrün, Kobaltgrün, grüne Erde, Kobaltblau, Ultramarinblau, Rebenschwarz, Elfenbeinschwarz.

Die Fixirung des vollendeten Bildes erfolgt durch Bespritzen eines mit Aetzkali und Aetzammoniak versetzten Kaliwasserglases, das indeß nicht kalt, sondern vielmehr heiß auf die vorher bis auf den Stein ausgetrocknete Wandfläche aufgebracht wird. Dieses letzte Austrocknen des Bildes wird bei nasser oder kalter Witterung durch Anwendung besonders zu diesem Zweck construirter eiserner Oefen befördert und zum Schluß der ganzen Procedur, um ein späteres Hervortreten des frei werdenden Alkalis in Gestalt eines staubigen weißlichen Ueberzuges zu verhindern, das fixirte Bild noch einmal mit kohlensaurem Ammoniak behandelt, worauf für weitere Reinigungen ein Abwaschen mit Wasser genügt.

Hierzu bemerken wir, daß von der königlich bayerischen Akademie der Künste in München im März 1882 zur Prüfung der von dem Chemiker Keim erfundenen Mineralmalerei eine aus drei Professoren der Akademie, zwei Architekten und einem Chemiker gebildete Commission eingesetzt wurde, deren Gutachten sich ohne jede Einschränkung dahin ausspricht, daß es dem neuen Verfahren gelungen sei, durch Feststellung einer durchaus rationellen Technik das Problem der Herstellung von durch das Klima unzerstörbaren Wandmalereien vollständig zu lösen. Insbesondere erklärten die der Commission angehörigen ausübenden Künstler, daß „diese Malmethode allen bisher für monumentale Malerei angewandten Techniken weitaus vorzuziehen sei, daß sie, einmal in ihrem hohen Werthe erkannt, eine förmliche Umwälzung in unserer gesammten Monumental- und Decorationsmalerei hervorbringen dürfte und die größte Verbreitung und praktische Ausnutzung verdiene“.

Von bezeichneter Commission wurde ferner festgestellt, daß Einlegen in kaltes und heißes Wasser, sowie Bürsten mit Wasser, Alkalien, verdünnten und selbst concentrirten Säuren keine merkliche Schädigung bewirkten, und die Bilder selbst nach solchen Proceduren noch gleiche Härte und Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Angriffe zeigten. Ist damit eine außergewöhnlich weitgehende Dauerhaftigkeit der nach dem Keim'schen Verfahren hergestellten Wandgemälde evident erwiesen, so weisen die der Commission angehörenden Künstler noch auf eine Reihe anderer Vorzüge hin, wie auf den klaren weißen Malgrund, auf welchem sich die Farben, besonders Lasuren, durchsichtig, brillant und mit großer Leuchtkraft Wirkung zu verschaffen vermögen und auf die Reichhaltigkeit der Farbenscala, die das höchste Licht des Freskobildes ebenso erreichen läßt, wie eine bedeutende Tiefe und Wärme der Schatten. Dabei ist das Malen selbst mit keinerlei Schwierigkeiten verknüpft; die Farben sind äußerst geschmeidig, gehen leicht vom Pinsel, adhäriren

gut auf dem Malgrunde und lassen sich in einander vertreiben. Die vollendeten Bilder können ferner mit Leichtigkeit retouchirt, verbessert und zusammengestimmt werden.

Aber nicht allein als monumentale Malart verdient die Stereochromie alle Beachtung, sondern bei ihren Vorzügen kann sie auch zu Anstrichen im Aeußeren und Inneren der Häuser in Anwendung gebracht werden. Man hat dazu allerdings schon oft stereochromische Anstriche empfohlen[1]), aber bisher hat man noch wenig davon Gebrauch gemacht, sei es, weil man nicht gerne vom Althergebrachten abläßt, oder weil man bei dahin abzielenden Versuchen dieselben nicht mit der nöthigen Sachkenntniß ausführte, wobei ungünstige Resultate erzielt wurden. Vielleicht ist auch der Umstand von Einfluß, daß man glaubt, die Anstriche mit Wasserglas sind schwierig herzustellen, indem sie eine ganz eigenthümliche Behandlung, oder eines eigens zusammengesetzten Mörtels als Malgrund, oder der nachherigen Anwendung einer Spritze zum Fixiren der Farben bedürften.

Daß zur Aufnahme stereochromischer Malereien kein besonderer Mörtel nothwendig ist, sondern sich dazu jeder alte, gut ausgetrocknete Mörtelverputz eignet, wurde durch größere Versuche in München festgestellt. So wurden dort sämmtliche Wände des Kaiserhofes der königlichen Residenz vor Jahren stereochromisch übermalt und der Grund, auf dem gemalt wurde, war gewöhnlicher Kalkmörtel. Die Farben kamen bereits mit Wasserglaslösung angerührt zur Verwendung und vor dem Auftragen auf die Wand, was mit gewöhnlichen Pinseln geschah, wurden dieselben noch mit Wasserglaslösung verdünnt.

Die mit Wasserglaslösung angeriebenen Farben waren von dicker Consistenz, ungefähr wie die mit Oel angeriebenen Farben für Oelmalerei im Handel vorkommen; das dazu benutzte Wasserglas hatte nach der Analyse von Feichtinger eine Zusammensetzung von[2]):

Kieselsäure . . .	51,79
Kali	39,05
Natron	9,16
	100,00

Das Wasserglas, welches zum Verdünnen der Wasserglasfarben verwendet wurde, hatte ein specifisches Gewicht von 1,20 und bestand aus:

Kieselsäure . . .	66,14
Kali	25,64
Natron	8,22
	100,00

Das Wasserglas, womit die Farben angerührt waren, enthielt demnach weniger Kieselsäure und mehr Alkali als dasjenige, das zum Verdünnen der

---

1) Das Wasserglas und seine Verwendung in der Bautechnik von Wagner. Gewerbebl. f. d. Großherz. Hessen 1872, Nr. 18. Wagner's Jahresber. der chem. Technol. 1872, S. 461.

2) Bayer. Ind.= u. Gewerbebl. 1873, S. 222. Wagner's Jahresber. der chem. Technol. 1873, S. 523.

Farbe angewendet wurde, offenbar zu dem Zwecke, eine zu schnelle gallertartige Abscheidung der Kieselsäure an der Luft — durch Einwirkung der Kohlensäure derselben — zu verhüten.

Da sich übrigens die Abscheidung gallertartiger Kieselsäure durch längeres Stehenlassen an der Luft nicht ganz verhindern läßt, so ist es immer nothwendig, die mit Wasserglaslösung angemachten Farben möglichst bei Luftabschluß aufzubewahren.

Die Farben, die man zum Bemalen des Kaiserhofes anwandte, waren: Weiß, Hellgelb, Rothbraun, Dunkelbraun, Schwarz und die durch Vermischen einzelner derselben erhaltenen Nüancen.

Die weiße Farbe bestand aus einem Gemisch von Zinkoxyd und Schwerspath, die gelben, rothbraunen und dunkelbraunen Farben waren kalkhaltige Ockerfarben und die schwarze Farbe bestand aus einem Gemenge von Braunstein und Kienruß.

Bei der praktischen Ausführung von stereochromischen Anstrichen ist Folgendes zu berücksichtigen: Der Verputz auf einer Mauerwand muß gut und sorgfältig hergestellt werden, er muß sehr einsaugend und mit dem Gestein der Mauer fest verbunden sein. Die Wasserglasfarben dürfen nur aufgetragen werden, wenn das Mauerwerk gut ausgetrocknet ist; der Bewurf darf nicht frisch, sondern soll schon längere Zeit der Luft ausgesetzt gewesen sein, weil der Aetzkalk das Wasserglas zu rasch zersetzt; es eignet sich daher hierzu in hohem Grade eine alte Kalkwand; vor dem Malen ist es nothwendig, die Wand zuerst mit der Wasserglaslösung zu tränken; immerhin sollte reines oder mit wenig Natron versetztes Kaliwasserglas angewendet werden, indem das Natronwasserglas starke Auswitterungen verursacht.

Das Malen mit Wasserglasfarben hat gar keine Schwierigkeiten, es ist ebenso leicht auszuführen, wie ein Kalk-, Oel- oder Leimanstrich; auch kommt ein Wasserglasfarbenanstrich nicht höher zu stehen, und ist jedenfalls billiger als ein Oelanstrich; bei richtiger Ausführung haften die Farben viel fester und es besitzt daher ein Wasserglasanstrich eine viel größere Dauer; dazu kommt noch, daß man eine damit bemalte Wand von dem anhängenden Schmutz leicht durch Waschen mittelst eines Schwammes reinigen kann.

Stereochromische Anstriche lassen sich übrigens nicht nur auf gewöhnlichem Kalkverputz, sondern auch auf Ziegel- und Sandsteinmauerwerk ohne Verputz ausführen, namentlich sind leicht verwitternde Steine dadurch besser geschützt als durch irgend ein anderes Mittel[1]).

Unter dem Namen Silicat bringt die Gesellschaft, welche die Zinkgruben Vieille Montagne bei Aachen ausbeutet, eine Wasserglaslösung und eine gelblichweiße Farbe für Anstriche an Häusern ꝛc. in den Handel. Die gelblichweiße Farbe ist nichts Anderes als natürlicher Galmei, mit dem ihn begleitenden Gesteine gemahlen und soweit erhitzt, daß nur das Zinkcarbonat seine Kohlensäure verloren hat. Das Wasserglas hinterläßt nach den Untersuchungen Feichtinger's

---

[1]) Die Verkieselung durch Anwendung des Wasserglases, von Kuhlmann, übersetzt von Hertel. Weimar 1859.

beim Verdampfen 27,2 Proc. festen Rückstand, welcher nachstehende Zusammensetzung besitzt:

Kieselsäure . . .	67,05
Kali	29,40
Natron	3,55
	100,00

Silicatfarben werden auch von der Firma Bärle & Co. (Worms) in Teigform geliefert und müssen bei der Verwendung mit Farbenwasserglas derart verdünnt werden, daß sie leicht aus dem Pinsel fließen.

Wetterfeste Maueranstrichfarben werden nach E. G. Thenn in München (D. R.-P. Nr. 25137 vom 4. März 1883) auf folgende Weise hergestellt: Es wird ein trockenes Pulver aus 20 Thln. kieselsaurem Kali, 10 Thln. Feldspath, 27 Thln. gefälltem Kieselsäurehydrat, 9 Thln. Kryolith, 15 Thln. natürlicher, durch Kali leicht angreifbarer Kieselsäure, bezw. Silicate, 19 Thln. krystallinischem kohlensaurem Kalk und 50 Thln. Erdfarbe hergestellt. Zur Benutzung wird das Pulver mit dickem Aetzkalkbrei angerührt und nach dem Trocknen mit Kaliwasserglaslösung bestrichen.

Die Stereochromie beschränkt sich nicht auf die Wandmalerei allein, sondern sie läßt sich auch auf verschiedenen anderen Unterlagen anbringen und auch stereochromische Staffeleigemälde können auf Thonplatten hergestellt werden. Darauf kann sowohl unmittelbar als mittelbar gemalt werden, indem man sie mit Wasserglas sattsam tränkt. Besser ist es jedoch, den Thonplatten einen dünnen Ueberzug von Wasserglasmörtel zu geben, weil sich dadurch leichter eine ganz ebene und gleichmäßig rauhe Oberfläche als die geeignetste zum Malen herstellen läßt.

Diese Platten dürfen nicht über 2 cm dick und nicht zu hart gebrannt sein, damit sie gut einsaugen; ihre Oberfläche soll eben, aber nicht glatt, sondern rauh sein. Wenn sie mit Wasserglas, was mit einem halben Theil Wasser verdünnt worden, öfters getränkt worden, so bekommen sie eine Festigkeit, wie sie nicht größer durch starkes Brennen zu erlangen ist. Verlieren sie durch starkes Tränken mit Wasserglas die Eigenschaft einzusaugen, so dürfen sie nur, damit sie dieselbe wieder erlangen, einige Zeit erwärmt werden. Dasselbe wird erzielt, wenn man Weingeist darüber abbrennen läßt (v. Fuchs).

Einen weißen Malgrund, auf Thonplatten, Holz, Cement, Stein, Glas oder Metalle anwendbar, bereiten Walz in Pforzheim und Kreittmayr in München auf folgende Weise: 2 Raumthle. feinstes, reinstes Flußspathmehl, 1 Raumthl. feinster, reinster Quarz (oder Glasmehl) und 1 Raumthl. feinstes, reinstes Zinkweiß werden gemischt und das Gemisch mit concentrirtem Kaliwasserglas zu Oelfarbendicke sorgfältig verrieben. Ist der zu malende Gegenstand porös oder einsaugend, wie Holz, gebrannte Thonplatten 2c., so muß derselbe kurz, ehe der weiße Malgrund aufgetragen wird, mit verdünnter Wasserglaslösung (1 Thl. auf 2 bis 6 Thle. Wasser) je nach Porosität ein- bis zweimal genetzt werden. Der Malgrund läßt sich bald nach Auftrag sehr leicht abbimsen oder abschleifen. Soll der Malgrund weniger schnell trocknen oder binden, so kann das Zinkweiß

auch weggelassen werden. Die dann aufgetragenen, mit Flußspath versetzten und mit Wasserglas angemachten Farben haften nachher sehr fest.

E. Meyer hat sich ein verbessertes stereochromisches Verfahren (was nur eine Abänderung des von Walz und Kreittmayr angegebenen Verfahrens ist) patentiren lassen (D. R.-P. Nr. 3241). Danach werden die Farben mit gepulvertem Flußspath und Quarz- oder Glasmehl gemischt und diese Mischung mit so viel concentrirtem Kaliwasserglas angerührt, daß eine Flüssigkeit von dünner Oelfarbendichtigkeit entsteht, mit welcher dann gemalt wird. Der Malgrund kann aus Holz, Cement, Stein 2c. bestehen, muß aber, wenn er porös oder einsaugend ist, ein- bis zweimal mit verdünntem Kaliwasserglas vorher verkieselt werden.

Zur Verzierung von Gebäudefaçaden ist in neuester Zeit eine allbekannte, aber beinahe in Vergessenheit gerathene Technik wieder zu Ehren gebracht worden, deren Durchführung nicht mit großen Kosten verbunden ist und welche auch für unser Klima hinreichend wetterbeständige Werke liefert. Es ist dieses die Sgraffito-Decoration (Kratzmalerei) von sgraffiare, kratzen. Darunter versteht man das Verfahren, dunkle Flächen mit einem hellen Verputz zu überziehen und dann auf letzterem eine Zeichnung dadurch zu erzeugen, daß man die hellere Schicht wegkratzt, so daß die Zeichnung dunkel auf hellem Grunde erscheint[1]).

Nach Semper besteht das Verfahren, wie er es am eidgenössischen Polytechnikum in Zürich angewandt hat, in Folgendem: Zuerst spritzt man das rauhe Mauerwerk an, wie man es bei gewöhnlichem Verputze macht (Berappung). Um aber schon dieser ersten rauhen Unterlage mehr Festigkeit zu geben, wird $^1/_{10}$ grob gestoßener Steinkohlenschlacken dem sonst nach gewöhnlicher Weise mit grobem Kiessande bereitetem Spritzmörtel hinzugegeben.

Diesen Untergrund läßt man anziehen und trocknen und legt dann den ersten Auftrag auf. Dieser besteht aus folgender Mischung:

5 Thle. pulverisirten Kalkes, langsam unter Sand abgelöscht,
6 „ schwarzen scharfen Flußsand,
2 „ grob gestoßener Steinkohlenschlacken (hier können Körnchen dabei sein, wie kleine Schrote),
3 „ schwarzen Sand,
4 „ Schlacken, so fein wie Sand gestoßen,
1 Thl. Holzkohlenstaub,
Frankfurter Schwarz nach Befinden.

Letzteres dient nur, um die Schwärze des Mörtels zu verstärken, trägt aber nichts zur Festigkeit der Masse bei, ist daher nur vorsichtig anzuwenden. Das Gleiche gilt von der Holzkohle. Auch diese Schicht wird fest angedrückt und wohl geebnet. Auf diese folgt, noch ehe sie trocknet, die dritte dünnere Oberschicht, die aus folgendem Auftrage besteht:

$3^1/_4$ Thle. Kalk (wie oben),
2 „ Sand,
4 „ Schlacken,

1) Zwick, Jahrb. d. Baugewerbe 1873, S. 365. Thonind.-Ztg. 1881, S. 291

1 Thl. Holzkohlenstaub,
$^{1}/_{8}$ „ Frankfurter Schwarz.

Alles ist durch ein Haarsieb durchzusieben. Zum Abglätten der Fläche nimmt man zuletzt die gleiche Mischung, jedoch mit 1 Thl. Sand statt zwei. Man kann auch die Beigabe von Kohle und Frankfurter Schwarz nur auf den letzten Auftrag beschränken.

So lange die sorgfältig abgeglättete Fläche noch nicht trocken ist, folgt nun zuletzt der dreimalige Anstrich mit Kalkmilch, der nur so viel Dicke erhält, als nöthig ist, um den schwarzen Grund zu decken. Man kann, um das grelle Weiß des Kalkanstriches zu vermeiden, etwas Erdfarbe hinzusetzen, jedoch ist dieses Mittel bei zu viel gefährlich, weil nach Semper's Erfahrungen leicht Flecken entstehen. Besser läßt sich das Weiß dadurch dämpfen, daß man nach der Erhärtung das Ganze mit in Lauge aufgelöstem Asphalt (Judenpech) bestreicht. Dieser setzt sich in die Poren des Anstriches und giebt dem Ganzen einen klaren durchsichtigen Ton, der sich nach Belieben stimmen läßt.

Gleich nach dem mit dem Tüncherpinsel aufgetragenen dreifachen Anstrich mit Kalkmilch wird der Carton auf die Wandfläche mit Kohlenstaub übergepaust und die Zeichnung desselben erfolgt wie auf weißem Papiergrunde, nur treten an Stelle der Kreide oder des Bleistiftes stählerne Spachtel und Grabstichel. Hierauf folgt die Schraffirung der Zeichnung.

Nachträge.

Zu S. 64. **Prüfung des Kalkmörtels.** Der Verbrauch des fertigen mit Sand gemischten Kalkmörtels hat seit Einführung der Fabrikation desselben auf besonderen Mörtelwerken in größeren Städten eine ganz bedeutende Ausdehnung angenommen. In letzterer Zeit sind nun Klagen laut geworden, daß die Mörtel oft nicht den verlangten und vorausgesetzten Gehalt an Bindematerial enthielten.

Dr. **Frühling** veröffentlichte eine einfache Methode, um den Kalkgehalt im fertigen Kalkmörtel zahlenförmig zu bestimmen[1]). Als Ausgangspunkt benutzt er die Eigenschaft des Kalkhydrats, Ammoniaksalze schnell zu zersetzen. Danach wird die Prüfung in folgender Weise ausgeführt: Ein oben und unten offener, genau 100 ccm fassender Hohlwürfel aus Blech wird nach Aufsetzen auf eine glatte Unterlage vollständig (unter Vermeidung von Hohlräumen) mit dem zu untersuchenden Mörtel gefüllt und der über den äußeren Rand tretende Ueberschuß durch Abstreichen entfernt.

Hierauf wird der Mörtelinhalt des Würfels durch einen Blechtrichter unter Vermeidung jeglicher Verluste in eine verschließbare Flasche gefüllt, und der an Würfel und Trichter haftende geringe Rückstand mit genau 150 ccm Salmiaklösung in die Flasche nachgespült. Sodann wird nach Abnehmen des Trichters die Flasche mit einem eingeschliffenen Stöpsel geschlossen und einige Zeit kräftig geschüttelt, bis Mörtel und Salmiaklösung innig gemischt sind. Jetzt läßt man die Flasche ca. 15 Minuten in gut verschlossenem Zustande ruhig stehen, damit sich der Sand von der den Kalk gelöst enthaltenden Flüssigkeit möglichst vollkommen trenne. Es ist jedoch nicht nöthig, daß die über dem Sande stehende Lösung ganz klar wird, die etwa in der Flüssigkeit suspendirt bleibenden voluminösen Flocken üben auf den weiteren Gang des Verfahrens keinen wesentlichen Einfluß aus.

Von der über dem Sande stehenden Flüssigkeit mißt man sodann genau 100 ccm ab, gießt das abgemessene Quantum in ein Becherglas, welches bereits mit 400 bis 500 ccm Wasser bis etwa zur Hälfte gefüllt ist, und färbt die

---

1) Thonind.-Ztg. 1884, S. 393.

;lüssigkeit mit ca. 20 Tropfen alkoholischer Rosolsäurelösung intensiv roth.)ierauf bringt man das Becherglas sogleich unter eine 200 ccm fassende Bürette, ie inzwischen mit Salzsäure von einem bestimmten Stärkegrade bis zum Null-unkte gefüllt ist und läßt durch Oeffnen des Quetschhahnes Salzsäure aus der Bürette unter Umrühren in das Becherglas fließen, und zwar bis zu dem Punkte, vo die intensiv rothe Farbe der Flüssigkeit in eine schwach gelbliche übergeht. Die Zahl der verbrauchten Cubikcentimeter Salzsäure entspricht genau)en Kilogrammen Kalk, welche in einem Cubikmeter des geprüften Mörtels enthalten waren, so daß also bei 130 ccm bis zur Reaction ver-)rauchter Säure 130 kg Kalk in 1 cbm Mörtel enthalten sind.

Um dieses ohne Rechnung sich ergebende Resultat herbeizuführen, muß die Salzsäure von einer solchen Stärke sein, daß je 1 ccm = 0,05 g Calciumoxyd (gebrannter ungelöschter Kalk) äquivalent sei.

In derselben Weise kann auch eingelöschter Grubenkalk auf seinen Festgehalt controlirt werden, wenn man ein abgemessenes Volumen oder ein gewogenes Quantum der Untersuchung unterwirft. Die Resultate sind für die Praxis vollkommen ausreichend, da dieselben nicht mehr als $^1/_2$ Proc. durch Operationsfehler beeinflußt werden.

Zu S. 86. Künstliche Puzzolane. Nach dem Verfahren von Joh. Bielenberg in Chemnitz (D. R.-P. Nr. 24 038 vom 28. November 1882), um kieselsäurehaltige Erden und Steinarten als hydraulisch machende Zuschläge (Puzzolane) geeignet zu machen, werden Thonporphyr, Thonschiefer, Sandstein, Lehm &c. mit klarer Kohle oder Coaks vermengt und im Ofen aufgeschüttet. Das Brennen geschieht in einem gewöhnlichen Canalofen, und zwar so, daß das Anbrennen zunächst des Schornsteins erfolgt und auf diese Weise das Feuer zurückbrennt. Zugleich werden die Mineralien der Einwirkung der schwefligen Säure ausgesetzt, indem man vorn an den Luftzuglöchern des Ofens Rohre einsetzt, die mit Kohle und Schwefel angefüllt sind. Wenn das Feuer bis zu den Mündungen der Rohre verbrannt ist, so brennt die Kohle und der Schwefel in den Röhren an und die sich entwickelnde schweflige Säure wird von der ausgeglühten Masse aufgenommen, wodurch dieselbe in Verbindung mit Kalk hydraulische Eigenschaften, wie der Traß, Santorinerde &c., erhalten. Nach dem Glühen wird die Masse fein gemahlen und ist so zur Mörtelbereitung fertig.

Zu S. 92. Zur Untersuchung von Cementsteinen, Mergel &c. auf ihren Gehalt an kohlensauren Kalk hat Dr. R. Baur einen Apparat construirt (D. R.-P. Nr. 27 498), welcher bereits in bedeutenden Cementfabriken mit vorzüglichem Erfolge sich bewährt und den Vorzug hat, daß mit demselben außerordentlich sicher, rasch und keine Rechnung beanspruchend, gearbeitet werden kann.

Der Apparat, Fig. 139, besteht zunächst aus dem Entwickler *a* und dem Gasmesser *b*. Der erstere mit seinem eigenthümlichen Kugelrohr nimmt die Untersuchungssubstanz und (im Kugelrohr) die Zersetzungssäure auf; das in *a* frei gewordene Gas geht durch den Kautschukschlauch und Dreiweghahn *d* nach dem

Gasmesser, d. h. in die unten offene calibrirte Meßröhre *c*, welche in einen Glasmantel eingefügt und mit einer Sperrflüssigkeit versehen ist.

Die letztere kann in dem Apparat *b* beliebig circuliren, durch den unteren Glashahn abgelassen und vermittelst des Trichters wieder zurückgegossen werden. Der Dreiweghahn ist so durchbohrt, daß man die Communication im Apparate selbst ganz oder theilweise, sowie auch diejenige mit der äußeren Luft ebenso herstellen oder aufheben kann. Zur Aufnahme der abgelaufenen Flüssigkeit dient das Untersatzgefäß mit Thermometer.

Vor den Versuchen wird der Apparat zunächst auf luftdichten Schluß geprüft, indem man bei offenem Dreiweghahn (so daß also die Luft im Apparate mit der äußeren in Verbindung steht) die Kugelröhre mit dem etwas angefeuchteten Kautschukpfropfen fest in das Entwickelungsgefäß *a* eindreht; sodann den Gasmesser mit der Sperrflüssigkeit bis 0° füllt und nach ein paar Secunden den Dreiweghahn in diejenige Stellung dreht, wo er die Verbindung im Apparate nach rechts und links herstellt, nach außen abschließt. Läßt man jetzt durch Oeffnen des Ablaufhahns etwa 30 ccm Flüssigkeit ablaufen, so muß die innere Flüssigkeitssäule, welche anfänglich etwas sinkt, nach kurzer Zeit ruhig stehen bleiben.

Fig. 139.



Das dem Apparate beigegebene gute Kautschukmaterial wird selten eine Undichtheit aufkommen lassen, vorausgesetzt, daß der Pfropfen gut eingedreht ist (wobei man ihn stets ein wenig anfeuchtet) und der Schlauch nicht etwa durch Kälte oder Aufschlitzen ruinirt wurde. Vom guten Schlusse der Hähne überzeugt man sich dadurch, daß dieselben immer etwas eingefettet, an der Reibungsfläche vollkommen durchsichtig sind.

Das Meßrohr *c* hat an seinem unteren Ende einen Korkfuß, vermöge dessen es genau in der Achse des Apparates festgehalten und ferner namentlich erreicht wird, daß die Sperrflüssigkeit beim Ablassen nicht zunächst aus dem Gasmeßrohre, sondern aus dem Glasmantel sich absaugt. Hat man nun den Apparat, wie vorhin bemerkt, mit Flüssigkeit gefüllt und öffnet bei geschlossenem Dreiweghahn und Entwickler den unteren Hahn kurze Zeit, so sinkt natürlich die äußere Flüssigkeitssäule, die innere bleibt nach wieder geschlossenem Hahn bald ruhig stehen. Hierdurch wird zwischen Gasmeßrohr und Entwickler ein nach Maßgabe der Niveauunterschiede mehr oder weniger luftverdünnter Raum erzeugt, von welchem man bei der Analyse selbst insofern profitirt, als sich aus der in *a* befindlichen

Flüssigkeit, welche etwas Kohlensäure absorbirt, also für das Meßrohr verloren ginge, diese letztere einfach durch Sinkenlassen der äußeren Flüssigkeitssäule (Oeffnen des unteren Hahnes) absaugen läßt, so daß man, ohne große Fehler zu begehen, den sogenannten Absorptionscoefficienten ganz umgehen kann. Wird durch Aufgießen von Sperrflüssigkeit bei geschlossenem Dreiweghahn das äußere Flüssigkeitsniveau gehoben, so findet eine (womöglich zu vermeidende) Compression im Apparate statt. Stellt man bei gleichem Hahnstande durch Aufgießen oder Ablassen von Flüssigkeit die beiden Niveaus gleich ein, was außerordentlich scharf geschehen kann, so ist vollkommenes atmosphärisches Gleichgewicht innerhalb und außerhalb des Apparates hergestellt, wie auch dann, wenn bei offenem Dreiweghahn Sperrflüssigkeit aufgegossen oder abgelassen wird und nun beide Niveaus ganz gleichmäßig mit einander steigen oder fallen.

Die Analyse selbst wird z. B. für Marmor folgendermaßen ausgeführt: Aushängen des Dreiweghahns, sodann Füllen des Meßapparates mit der Sperrflüssigkeit bis 0°, Abwiegen von 200 mg gepulvertem Marmor und Einbringen desselben in die Flasche *a*. Füllen des Kugelrohrs in *a* mit 1/2 concentrirter Salzsäure und 1/2 Wasser, gerade so viel (also circa 2 ccm), daß der Marmor (Mergel rc.) vollständig zersetzt wird. Schließen des Entwicklers durch festes Eintreiben des (mit ein paar Tropfen der Sperrflüssigkeit) leicht benetzten Kautschukpfropfens.

Einsetzen des Dreiweghahns, so daß die Communication nach innen und außen für ein paar Augenblicke noch offen ist. Sodann Abschluß der Communication nach außen durch Drehung des Hahns. Der Apparat muß also jetzt nach innen ganz offen, nach außen ganz geschlossen sein. Nunmehr Neigung des Entwicklers und Ausfließen der Säure auf die Substanz: Kohlensäureentwickelung und hierdurch starkes Sinken der inneren Flüssigkeitssäule. Jetzt wird, um keinen unnöthigen Druck im Apparate entstehen zu lassen, der Ablaufhahn so weit geöffnet, daß die innere und äußere Säule gleichmäßig sinken. Nimmt die Gasentwickelung bezw. das Sinken der inneren Säule ab, so schüttelt man den Entwickeler leicht um, indem man ihn immer an seiner Filzumhüllung anfaßt, und läßt, wenn die Entwickelung aufzuhören scheint, die äußere Säule durch abermaliges Oeffnen des Ablaufhahns zeitweilig um ca. 10 ccm unter die innere heruntergehen (Absaugen des Gases aus *a*). Nach kurzer Zeit wird aus dem Ablaufgefäße durch den Trichter so viel Sperrflüssigkeit in den Apparat wieder zurückgegossen, bis beide Niveaus gleichstehen. Nunmehr darf sich keine Gaszunahme mehr im Meßrohre *c* zeigen, wenn die Zersetzung beendet sein soll; andernfalls läßt man wieder etwas Flüssigkeit ablaufen, gießt wieder auf rc.

Jetzt wird, nachdem definitiv und haarscharf nivellirt, d. h. das atmosphärische Gleichgewicht nach allen Seiten hergestellt ist, sofort abgelesen. Gefunden: 48,8 ccm Kohlensäure. Bei einem mittleren Barometerstande, z. B. von 717 und 15° C., entspricht jedes Cubikcentimeter Kohlensäure = 4 mg kohlensaurem Kalk, also 48,8 . 4 = 195,2 mg kohlensaurem Kalk in 200. Das wären also in

$$100 = \frac{195{,}2}{2} = 97{,}6 \text{ Proc.}$$

Um nun jede Rechnung hier zu vermeiden, wiegt man einfach sehr genau so viel Substanz ab, daß die Cubikcentimeter Kohlensäure geradezu die Procente an reinem kohlensaurem Kalk sofort angeben; im vorliegenden Falle wären das 400 mg Marmor. Da aber für dieses Quantum Marmor der Apparat etwas zu klein ist, also größer und damit unhandlicher werden müßte, so sind 200 mg (die Hälfte) genommen worden, und man hat nun die erhaltenen 48,8 ccm bloß zu verdoppeln, um augenblicklich das richtige procentuale Ergebniß an gefundenem kohlensaurem Kalk in dem betreffenden Marmor, nämlich (wie oben schon gezeigt) 97,6 Proc. zu bekommen.

Bei Mergeln ꝛc., welche weniger Carbonate enthalten, wird man für die angegebenen Temperatur- und Barometerstände immer 400 mg, vielleicht sogar das Doppelte im Interesse einer bequemeren und genaueren Wägung ꝛc. an Substanz nehmen; die erhaltenen Cubikcentimeter Kohlensäure sind dann, wie gesagt, die einfachen oder doppelten Procente kohlensauren Kalks im untersuchten Material.

Andere Barometer- und Thermometerstände verlangen eine durch Rechnung leicht zu findende Abänderung der Substanzenmenge. Für die Genauigkeit der hierher gehörigen technischen Analysen sind nach Baur an einem Orte nur zwei Temperaturen, allenfalls 15 und 20° C. neben dem mittleren Ortsbarometerstande zu Grunde zu legen, wobei aber vorausgesetzt ist, daß der Apparat und namentlich auch die Sperrflüssigkeit stets an einem möglichst gleichmäßig temperirten Orte aufbewahrt sei. Die zu dem betreffenden mittleren Barometerstande gehörige Substanzmenge, welche für jede Analyse genau abgewogen werden muß, um sofort Procente zu bekommen, wird von Baur, wenn der Barometerstand angezeigt wird, auf Verlangen dem Apparate beigegeben.

Zu S. 112. Zur Herstellung von Portlandcement werden nach R. W. Lesley und D. Griffiths in Philadelphia (Amer. Pat. Nr. 305754 vom 30. September 1884) Eisenschlacken, wie sie aus dem Ofen kommen und wenn sie noch heiß sind, mit Wasser behandelt, damit sie sich leicht zerkleinern lassen. Sie werden dann mit geeigneten Verbindungen von Kalk oder Kalk und Magnesia gemischt, worauf das Gemisch zu Klinkern gebrannt und schließlich gemahlen wird.

Zu S. 113. Zusätze zur Cementrohmasse. Dr. C. Heintzel in Lüneburg ließ sich ein Verfahren zur Herstellung von langsamer bindendem Portlandcement patentiren (D. R.-P. Nr. 28873 vom 1. April 1884). Die meisten Portlandcemente sind im frisch gemahlenen Zustande derartig rasch bindend, daß es sehr schwierig ist, sie sofort als Mörtelmaterial zu verwenden. Erst unter dem Einfluß der Atmosphärilien beim Lagern werden sie langsam bindend und für die Bautechnik verwendbarer. Da das Lagern des Cementes aber umständlich und kostspielig ist, wird fast allgemein ein forcirtes Verlangsamen des Cementes vorgezogen und dieses dadurch erreicht, daß dem gebrannten Cement vor dem Mahlen ein geringer Procentsatz, 1 bis 2 Procent, an rohem Gyps zugesetzt wird. Dieser zugesetzte Gyps löst sich zum Theil in dem Wasser, mit dem der Mörtel angemacht wird, und schlägt sich auf den einzelnen Cement-

partikeln als ein unendlich feines Gypshäutchen nieder, wodurch dieselben von einander getrennt und das rasche Verkitten zu einem Ganzen verhindert wird. In nicht wenigen Fällen hat aber der Gypszusatz nicht die gewünschte Wirkung, nämlich dann, wenn die Abbindezeit eines Cementes eine geringere ist, als die Zeit, in der sich eine genügende Gypslösung bilden kann. Unter solchen Umständen etwa durch höheren Gypszusatz ein Verlangsamen des Abbindens erzwingen zu wollen, ist aber nicht rathsam.

Einmal ist ein über 2 Procent hinausgehender Zusatz von Gyps nach den Erklärungen des Vereins deutscher Cementfabrikanten unstatthaft, dann aber verschlechtert sich auch der Cement nach anderen Richtungen hin, bei hohem Gypszusatz sogar bis zur gänzlichen Unbrauchbarkeit.

Einen viel sichereren Erfolg erzielt man, wenn die Cementmischung vor dem Brennen mit der schwachen Auflösung eines leicht löslichen Sulfates imprägnirt wird. Die Sulfatlösung wird so gestellt, daß, je nach Bedürfniß, für den Centner trockener Rohmischung 0,25 bis etwa 1 kg Salz zur Verwendung gelangt. Von den Sulfaten derjenigen Basen, welche im Cement selbst vorhanden sind, hat sich am wirkungsvollsten das Ferrosulfat (Eisenvitriol) erwiesen.

Das Imprägniren der rohen Cementmasse mit der Lösung dieses Salzes geschieht je nach Herstellung des Rohgutes in verschiedener Weise.

Bei dem sogenannten Trockenverfahren, wo Mehl von richtiger Zusammensetzung mit Wasser angerührt und zu Ziegeln geformt wird, wird die Sulfatlösung diesem Anmachewasser beigegeben. Bei dem halbnassen Verfahren, wo Mehl und Schlamm zur richtigen Mischung vereinigt werden, wird die Sulfatlösung dem Schlamme zugesetzt. Bei dem nassen Verfahren endlich wird die Sulfatlösung ebenfalls mit dem Schlamme vereinigt, und zwar nachdem derselbe aus dem Schlammbassin an den Thonschneider geschafft ist, um hier homogenisirt zu werden. Der Schlamm wird alsdann wie gewöhnlich auf der Darre getrocknet.

Die Einwirkung, welche ein Zusatz von löslichem Sulfat, insbesondere von Ferrosulfat (Eisenvitriol), zum Cementgut vor dem Brennen ausübt, ist in allen Fällen erfolgreich. Die am raschesten bindenden Cementsorten, welche mit zwei und mehr Procent Gyps nicht langsam bindend zu machen sind, erhalten, nach dieser Methode behandelt, eine solche Abbindezeit, daß der frische Cement sofort verwendet werden kann.

Zu S. 121. Schlämmen der Kreide. K. Pantermüller in Promoisel (Rügen) hat sich Neuerungen in dem Verfahren, Schlämmkreide herzustellen, patentiren lassen (D. R.-P. Nr. 10839). Diese Neuerungen bestehen: 1) Die Anbringung einer Vorrichtung, genannt „Schuh“, an einem Schlämmapparate für Kreide, welche durch einen daran befestigten Arm und durch ein Zahnrad in rüttelnde Bewegung versetzt wird, zum gleichmäßigen Aufgeben der rohen Kreide in den Schlämmbottig. 2) Die Art der Anlage, bestehend aus Sandkästen und Rinnen, letztere mit Gefälle in sich nach dem Bottich zu, zum Absondern des Sandes aus der geschlämmten Kreide, sowie zum Abführen dieser Masse nach den Sammelgruben [1]).

[1]) Thonind.-Ztg. 1880, S. 396.

Zu S. 132. *Basisches Futter für Cementbrennöfen.* Franz *Morbitzer* in Straza und Dr. L. *Erdmenger* in Gößnitz haben sich ein *Verfahren zur Herstellung eines basischen Futters in Cementbrennöfen* patentiren lassen (D. R.-P. Nr. 22696 vom 22. März 1882). Bei den bis jetzt ausschließlich zur Verwendung gelangenden Cementbrennöfen mit saurem Futter backt die Cementmasse immer an, so daß dieselbe bei späterem Stechen nicht gut stürzen will. Diesem Uebelstande soll durch dieses Verfahren abgeholfen werden, indem die inneren Wandungen mit basischem Material angestrichen, verputzt oder ganz mit solcher Masse ausgestampft werden, wobei dasselbe in letzterem Falle die Chamottemauerung ganz ersetzt. Zum Ausstampfen werden kohlensaurer Kalk oder Gemische desselben mit kohlensaurer Magnesia verwendet, die am besten so thonhaltig sind, daß sie, wenn sie gebrannt würden, gerade Cementrohmischung geben würden, weil in dem Falle das Futter am widerstandsfähigsten ist. Fast stets wird schon ein stärkerer Verputz mit dem wie gewöhnlicher Mörtel mit Wasser angemengten Steinmehl in solchen Fällen genügen, wo man mit bloßem Chamottefutter nicht auskommt. Statt kohlensaurer, thoniger, alkalischer Erden können auch andere analog wirkende Substanzen angewendet werden, so namentlich auch Hohofenschlacken, gepulvert und mit Wasser angemacht, ferner Pulver von Diabas, Diorit ꝛc. Statt mit Wasser kann man auch, um die Masse besser zu verbinden, dieselbe mit Theer, Asphalt und anderen zusammenklebenden Substanzen vor dem Einstampfen anmachen.

Zu S. 134. *Ofen zum continuirlichen Brennen von Cement mit Vorwärmer zum Erhitzen der Masse vor Zugabe von Brennmaterial von C. Dietzsch.* Gegen den *Dietzsch*'schen Etagenofen zum continuirlichen Brennen von Portlandcement, auf S. 134 besprochen und abgebildet, wurden, obwohl er durch die zweckmäßige und originelle Construction, durch die signalisirte Oekonomie des Brennstoffs die Aufmerksamkeit der interessirten Fachkreise auf sich zog, verschiedene Bedenken erhoben. Hauptsächlich wurde geltend gemacht, daß der Transport der Steine aus dem Vorwärmer in den Frittraum mit großen Schwierigkeiten verbunden sei, und daß der Frittraum selbst durch Ansetzen von Schlacken sich leicht versperren und den continuirlichen Proceß unterbrechen werde.

Von Dr. *Heintzel* und Prof. *Tetmajer* wurde aber in neuester Zeit durch Beobachtungen und Versuche constatirt, daß mit diesem Etagenofen ein regelmäßiger Fabrikbetrieb möglich ist.

Dr. *Heintzel*[1]), welcher während eines zweitägigen Aufenthaltes auf der Malstatter Cementfabrik den Etagenofen von früh bis spät in Thätigkeit gesehen hat, theilt hierüber Nachstehendes mit: „Die Ausnutzung der Feuergase ist eine sehr gute, die Steine werden im obersten Theile des Vorwärmers handwarm, im untersten Theile desselben kirschroth mit beginnender Erweichung. Das Herunterziehen der Steine aus dem Vorwärmer, das Vorschieben bis in den Frittraum sowie das Chargiren des Frittraumes selbst wird in rascher und leichter Wei-

1) Thonind.-Ztg. 1884, S. 351.

erledigt. Das Sinken im Frittraume, das nach 15 bis 20 Minuten eintritt, hat, so lange ich den Ofen zu beobachten Gelegenheit hatte, nie einer besonderen Nachhülfe bedurft. Wohl aber wird die Vorsicht gebraucht, daß man nach einem dreitägigen Gange des Ofens den Frittraum tiefer als gewöhnlich abläßt, damit durch ein Schauloch von oben in den Raum hineingesehen und eventuell anhaftender Cement niedergestoßen werden kann. Nach Beendigung dieser Arbeit tritt sofort ein neues Chargiren ein. Innerhalb zweier Stunden steht der Ofen wieder in alter Thätigkeit. Das Ziehen der gebrannten Masse aus dem Kühlraume endlich ist eine leichte Arbeit.

Die Ersparniß von Brennmaterial im Etagenofen ist eine enorme. Während Malstatter Rohmasse im Schachtofen etwa 97 Pfund Coaks pro Faß von 340 Pfund Cement verlangt, wird dieselbe Menge Rohmasse im Etagenofen mit 46 bis 48 Pfund Kohle gar gebrannt."

Dr. Heintzel bemerkt noch, daß nach Mittheilungen des Erfinders die Hauptschwierigkeit in der Auffindung der richtigen Dimensionen zwischen Vorwärmer und Heizraum liegt; sind diese Dimensionen aber festgestellt, so wird und bleibt der Betrieb ein exacter.

Prof. Tetmajer[1]), der es im Interesse der schweizerischen Cementindustrie unternommen hatte, den Gang des Etagenofens in einer längeren Beobachtungsfrist zu studiren, und namentlich auch sein Werthverhältniß in der Reihe der jetzt gebräuchlichsten Ofensysteme der Cementbranche, so gut als irgend möglich war, festzustellen, kam bei seinen Beobachtungen zu folgendem Resultate: Offenbar liegt der Schwerpunkt der Construction im vollständigen Isoliren und der Zugänglichkeit des Schmelzraumes, welche sowohl eine Beobachtung der Frittung als auch eine zweckdienliche Beschickung, die nicht wohl in Unordnung gelangen kann, zuläßt. Die Zugänglichkeit des Schmelzraumes gewährt ferner die Möglichkeit einer raschen Reparatur schadhaft gewordener Wandtheile, beziehungsweise eine relativ rasche Erneuerung des ganzen Schmelzraumfutters; letztere fordert circa 5 bis 6 Tage Zeit.

Die Verbrennungsluft tritt am Roste ein; sie durchzieht die glühenden Klinker und gelangt intensiv vorgewärmt zur Verbrennung. Die abziehenden Gase geben ihre Wärme an das Rohmaterial des Vorwärmers ab, so daß die Ziegelsteine unten im Vorwärmer intensiv rothwarm erscheinen, während sie in der Nähe des Fülltrichters stark handwarm liegen. Am Roste liegen die Klinker gewöhnlich auch handwarm. Da die Höhe des Kühlraumes keine erhebliche ist, die Bewegung der Klinker ziemlich lebhaft vor sich geht, erreicht man bei der Anordnung des Dietzsch'schen Etagenofens gegenüber dem Ringofen und großen Schachtöfen den nicht zu unterschätzenden Vortheil, daß die gar gebrannten Klinker die thunlichst kürzeste Zeit in der Zone der Rothgluth verbleiben, also in kürzester Zeit abgekühlt werden.

Betreffs der Anlagekosten des Dietzsch'schen Ofensystems an sich, sowie im Vergleiche mit gewöhnlichen Schachtöfen und dem Ringofen ergiebt sich, daß

[1]) Der Werth des Dietzsch'schen Etagenofens für die schweizerische Cementindustrie, von L. Tetmajer, Zürich 1884. Thonind.-Ztg. 1884, S. 491.

ein mittelgroßer Schachtofen mit circa 25000 kg Leistungsfähigkeit pro Brand circa 8000 Frcs., ein Ringofen mit 18 Kammern à 60 qm Fassungsraum und 80000 Normaltonnen (à 170 kg Netto) = 37260 kg Tagsproduction ohne Umfassung und Bedachung circa 60000 Frcs. kostet. Ein Schachtofen von vorstehend angegebener Größe giebt bei 48 Bränden pro Jahr eine mittlere Tagesproduction von 3340 kg Portlandcement.

Nimmt man nun die Tagesproduction zu

	10000 kg (1 Waggon)	20000 kg (2 Waggons)	37260 kg (1 Ringofen)
an, so sind hierzu:			
Schachtöfen	3 Stück	6 Stück	11 Stück
Etagenöfen	1 einfacher	1 doppelter	2 doppelte
nöthig.			
Die Capitalanlage beträgt somit bei:			
Schachtöfen	24000 Fr.	48000 Fr.	88000 Fr.
Etagenöfen	10000 „	16800 „	32000 „
Es beträgt somit die			
absolute Capitalsparniß	14000 Fr.	31200 Fr.	56000 Fr.
die Sparniß an 4 Proc. Zinsen pro Jahr ...	560 Fr.	1240 Fr.	2240 Fr.

Vergleicht man die Anlagekosten des Ringofens mit denen des Dietzsch'schen Etagenofens, so ergiebt sich eine Sparniß an Anlagecapital im Betrage von 28000 Fr., d. h. eine Zinssparniß von 1120 Fr. pro Jahr.

Der Platzbedarf des Dietzsch'schen Etagenofens ist ebenfalls ein Minimum. Ein einfacher Etagenofen mit circa 7- bis 10000 kg Tagesproduction fordert ohne Raum für die Arbeitsbühnen circa 24 bis 26 qm, mit Arbeitsbühnen 77 bis 80 qm, während ein Doppelofen mit circa 2 Waggons Tagesproduction ohne Arbeitsbühnen circa 50 qm, mit diesen circa 126 bis 130 qm Grundrißfläche benöthigt. Dabei sind die Arbeitsbühnen im ersteren Falle mit 1,8 m, im letzteren Falle mit 2 m Breite in Rechnung gebracht.

Was die Betriebsverhältnisse des Etagenofens betrifft, so wird in Malstatt das Rohmaterial in künstlich getrocknetem Zustande in Form ganzer Ziegel oder Bruchstücke derselben, wie sie die Darren liefern, in den Vorwärmer aufgegeben. Die Kohle (II. Qualität Stückkohle) wird auf Wallnußgröße zerkleinert. Gröbere Kohle aufzugeben, ist nicht rationell, denn einmal geht die Verbrennung nicht genügend flott von statten, dann aber können bei der continuirlichen Bewegung größere Kohlenstücke in den Kühlraum gelangen, wo sie die Verbrennungsluft verunreinigen und füglich als glimmende Coaksstücke den Klinkern beigemengt am Rost erscheinen.

Das getrocknete Rohmaterial zeigt in Malstatt geringe Cohäsion; dessen ungeachtet gelangen die vorgeglühten Steine in befriedigendem Zustande auf der Sohle des Verbindungscanals; die Ecken sind meist abgestoßen und abgerundet und man sieht den Steinen einzelne Brocken und Mehl beigemengt. Diese durch

die Bewegung des Rohmaterials im Vorwärmer bedingte Zerkleinerung bringt indessen keinerlei Nachtheile mit sich, denn die Brocken und das Mehl verbacken sehr schön und geben poröse, leicht zu zerkleinernde, aber gut gefrittete Cementschlacken.

Die Beschickung des Schmelzraumes bedarf großer Sorgfalt und geht ohne nennenswerthe physische Arbeit vor sich. Sobald der letzte Satz sich gedrückt, die Sinterung soweit vorgerückt ist, daß ein neuer Satz aufgegeben werden kann, öffnet man die Arbeitsöffnung, ebnet mittelst eiserner Rechen die Oberfläche des letzten Satzes und führt die vorangehend abgewogene Brennstoffmenge in drei bis vier Portionen ein. Hierauf wird diese gleichmäßig vertheilt, geebnet und nur durch die auf schaufelförmigen Werkzeugen vorgezogene Rohmasse gedeckt. Die beschriebene Procedur dauert $^3/_4$ bis 1 Minute und wiederholt sich in Intervallen von circa 18 bis 20 Minuten. Am Rost wird jedesmal gezogen, so oft der Schmelzraum von selbst nicht mehr so tief sinkt, daß ein neuer Satz Platz findet.

Soll der Schmelzraum gänzlich geleert werden, um allfällig an die Wandflächen angeschweißte Klinker abzulösen und gleichzeitig den Schmelzraum etwas abzukühlen, so wird zunächst der Vorwärmer nachgefüllt, beziehungsweise es werden die Tags über gesammelten Grieben (Ungare) auf die Sohle des Verbindungscanals eingesetzt; nach einer Weile deckt man den letzten Satz mit einer angemessenen Kohlenschichte, damit auch die Spitzen der Steine des letzten Satzes gar brennen und beginnt mit dem Ziehen am Rost.

Tetmajer ließ im Laufe des zweiten Beobachtungstages den Schmelzraum leeren; ein Klumpen zusammengefritteter Cementschlacke blieb an der Wandfläche hängen und konnte erst nach einer vierstündigen mühevollen Arbeit abgelöst werden. Nach demselben ist daher das Hängenbleiben der Cementschlacken an den Wandflächen des Schmelzraumes einer der bemerkenswerthesten Uebelstände des Etagenofens. Es läßt sich indeß die Bildung der Ansätze auf ein Minimum reduciren durch tägliches Leeren des Schmelraumes und zwar unmittelbar vor dem Schichtenwechsel; dadurch wird die abziehende Arbeiterbrigade angehalten, der ablösenden Mannschaft den Schmelzraum des Ofens ordnungsgemäß zu übergeben. Es wird auch jetzt in Malstatt nach dem Vorschlage von Tetmajer die Procedur des häufigeren Niedergehenlassens des letzten Satzes vor dem Schichtenwechsel systematisch durchgeführt und hat sich, ohne die Productionsgröße zu beeinflussen, sehr gut bewährt. Nach erfolgter Reinigung des Ofens wird der Schmelzraum schichtenweise mit Kohle und den inzwischen vorgewärmten Grieben (Ungare) gänzlich gefüllt und es beginnt der regelmäßige Betrieb.

Am Rost findet in Folge von Mehlbildung eine mehr oder weniger stetige Bewegung statt. In Berührung des ohnehin thonreichen Rohmaterials mit der Steinkohle bildet sich ein thonreicheres Kalksilicat an der Oberfläche der Klinker.

Die Klinkerung der Steine muß als eine durchaus befriedigende bezeichnet werden. Jedenfalls ist sie nicht schlechter und ungleichmäßiger, als sie in renommirten Portlandcementfabriken mit Ringofenbetrieb gesehen wird. Immerhin ist der Brand nicht so regelmäßig und gleichartig, als ihn bei sauberer Arbeit gut geführte Schachtöfen liefern. Die ungaren und halb gebrannten Steine werden durch jugendliche Arbeiter sorgfältig ausgelesen.

Nach einer angenäherten Rechnung liegen die Bedienungskosten des Etagenofens zwischen den Bedienungskosten des Ring- und Schachtofens.

Bei einer Tagesproduction von 8- bis 10000 kg darf die Bedienung incl. Einsetzen und Leeren des Etagenofens,

Sortage und Abfuhr der Klinker	pro 100 kg	Cement	zu 0,16	bis 0,18	Fr.
bei einer Tagesproduction von 20000 kg	„ 100 „	„	„ 0,14	„ 0,15	„
bei einer Ringofenproduction von 37260 „	„ 100 „	„	„ 0,13	„ 0,14	„

angenommen werden, wobei in allen Fällen ein Brennmeister mit 4 Fr. Tageslohn eingerechnet ist.

Aus den Erhebungen Tetmajer's über die Feststellung des Brennstoffaufwandes ergab sich, daß man den muthmaßlichen, zum Garbrand normal gemischter Rohmaterialien erforderlichen Kohlenaufwand im Dietzsch'schen Etagenofen rund zu 17 kg pro 100 kg Cement annehmen darf.

Zieht man eine Parallele zwischen dem Brennstoffverbrauch der üblichsten Ofensysteme, so ergiebt sich hieraus:

Im Mittel aus fünf Angaben fordert der gewöhnliche Schachtofen:

27,9 kg Coaks pro 100 kg Cement.

Im Mittel aus vier Angaben fordert der gewöhnliche Ringofen:

23,7 kg Kohle pro 100 kg Cement.

Tetmajer hat Etagenofencement im Vergleich mit Schachtofencement hinsichtlich der Zusammensetzung, Bindezeit, Zug- und Druckfestigkeit ꝛc. untersucht und fand, daß unter sonst gleichen Verhältnissen der mittelst Steinkohle II. Qualität im Dietzsch'schen Etagenofen gar gebrannte Portlandcement dem mit Coaks bedienten Schachtofencement in keiner Weise nachsteht. Nach seiner Meinung gebührt nach Anlagekosten und Brennstoffersparniß bei Neuanlagen dem Etagenofen von Dietzsch selbst vor dem Ringofen der Vorzug, und es scheint bloß eine Frage der Zeit zu sein, wann dieses neue Ofensystem allgemeine Anerkennung finden werde. Damit ist aber keineswegs ausgesprochen, daß das in Malstatt ausgeführte Modell nicht noch mehr oder weniger belangreicher Verbesserungen fähig sei.

Zu S. 181. Von der Wirkung einiger Zumischmittel auf den Portlandcement. Dr. Wilhelm Michaëlis wendet sich in einem offenen Briefe: Zum Dogma von der „Unmöglichkeit, Portlandcement durch verbindungsfähige Kieselsäure haltende Zuschläge zu verbessern" an den „Deutschen Cementfabrikantenverein" gegen den Vorstand desselben, welcher in einer Eingabe an den königl. preußischen Minister für öffentliche Arbeiten betont hatte, daß ein sogenannter bessernder Zusatz zu Portlandcement eine Verminderung der Festigkeit desselben bewirke, die fast proportional der Höhe des Zusatzes ist, und daß das gewinnsüchtige Interesse, welches hier die einzige Triebfeder bilde, nicht verschmähe, selbst den Deckmantel der angeblichen Wissenschaft sich umzuhängen.

Michaëlis hatte ein Jahr früher in einem Artikel: „Zur Verfälschung des Portlandcementes“ Folgendes entwickelt: „Wenn Portlandcement mit Wasser angemacht wird und in Folge davon erhärtet, so findet unbedingt eine Umlagerung der Moleküle neben und in Folge der Wasseraufnahme statt. In dem sich sofort bildenden alkalischen Medium im Cemente — viele Cemente enthalten freies Alkali und binden in Folge rapid — scheidet sich Kalkhydrat krystallinisch ab und zwar im Verlaufe des Erhärtungsprocesses ungefähr ein Drittel des gesammten im Cement vorhandenen Kalkes. Dieser so in Krystallen abgeschiedene Kalk wirkt sehr wenig verkittend, ja er hat vielmehr noch eine Tendenz, den bereits gewonnenen Zusammenhang der Cementmasse zu zerstören, was aber bei guten Cementen nicht mehr geschehen kann, weil der Zusammenhang bereits zu stark ist und weil die Kalkabscheidung dann zu allmälig von Statten geht. A priori läßt sich, nach Erwägung dieses Sachverhaltes, schon schließen, daß, wenn man diesem sich ausscheidenden Kalke Puzzolane darbietet, d. h. Substanzen, welche mit Kalkhydrat Cemente bilden, das Quantum effectiven Cementes im Mörtel erhöht werden kann, solcher Art, daß kein Aetzkalk mehr in Krystallen abgelagert werden kann, sondern daß sämmtliches frei werdende Kalkhydrat, was doch erst in Lösung gehen mußte, ehe es aus der Lauge krystallisiren konnte, zur Bildung von Kalkhydrosilicat verwendet wird.“

Dr. Michaëlis giebt dann im erwähnten offenen Briefe an, daß die seit 1876 von ihm begonnenen und seitdem in ausgedehntestem Maße fortgesetzten bezüglichen Untersuchungen zweifellos erwiesen haben, daß er von diesen Behauptungen auch nicht ein Wort zurückzunehmen habe; je mehr er dieses Capitel bearbeitet habe innerhalb der letzten drei Jahre, desto genauer treffe alles darin Ausgesprochene zu. Daß er die ihm bekannten, zur Verbesserung des Portlandcementes dienenden Zuschlagsmaterialien nicht nannte, hatte seine Gründe. Er habe aber, um die Wirkung seiner Zuschläge feststellen zu lassen, dieselben zu Versuchen verwenden lassen. Der eine Theil dieser Versuche ist nun von Professor Tetmajer angestellt und bereits veröffentlicht worden, und bei dem allgemeinen wissenschaftlichen Interesse und der Bedeutung des Mischverfahrens wollen wir die Resultate seiner Arbeit daher eingehender besprechen [1]).

Nach Tetmajer hat man bei Beurtheilung der Wirkungen eines Zumischmittels auf den Portlandcement zwei Momente, von denen der eine lediglich mechanisch-physikalischer Natur ist, während der andere eine chemische Umlagerung der Moleküle bedingt, aus einander zu halten. Sowohl der mechanische als chemische Vorgang äußert sich zunächst in der Erhöhung der normengemäßen Sandfestigkeit. Die mehrererseits beobachtete Erhöhung der fraglichen Sandfestigkeit eines Portlandcementes durch Zusatz inerter, meist specifisch leichterer Körper, wie Kalksteinmehl, läuft lediglich auf eine Reduction des schädlichen Einflußes der Volumenvergrößerung hinaus, welchen namentlich frisch gemahlene Cemente mehr oder weniger immer besitzen. Möglicher Weise tritt bei einzelnen Cementen überdieß eine Vergrößerung der Oberfläche der Kittsubstanz, also

---

[1]) Schweizerische Bauzeitung, 1884, Nr. 24, S. 143; Töpfer- und Zieglerzeitung 1884, Nr. 26 u. Nr. 46.

eine Erhöhung der Dichte mit hinzu. Daß ein Zusatz inerter Körper die nachtheiligen Einflüsse des äußerlich, d. h. durch die Glasplattenprobe nicht constatirbaren Treibens reducirt, läßt sich durch Parallelversuche mit reinem und gemischtem Cement in frischem und gelagertem Zustande beweisen. Man wird finden, daß, während bei frischer Waare der Zusatz von Kalkmehl eine Erhöhung der Festigkeitsverhältnisse erzeugen kann, dieser in der gelagerten Waare eine Abminderung nach sich zieht. Vergleichende Proben reiner und gemischter Cemente mit Staubhydrat oder Kalkbrei bestimmter Consistenz lassen keinen Zweifel darüber, daß der eventuellen Erhöhung der Sandfestigkeit eines Portlandcementes durch Zusatz inerter Körper keinerlei chemische Molekularwanderung zu Grunde liegt.

Völlig anders verhält sich die Sachlage, sofern dem Portlandcement innerhalb bestimmter Grenzen staubfein gemahlene Körper beigemengt werden, die verbindungsfähige Kieselsäure enthalten. Hier tritt eine chemische Action ein, wodurch nicht allein die Festigkeitsverhältnisse des normengemäßen Cementmörtels, sondern auch diejenigen gleichwerthiger Cementkalkmörtel oft überraschende Steigerungen erfahren.

Seit Veröffentlichung der verdienstvollen Arbeiten Le Chatelier's, Hauenschild's, Erdmenger's u. A. kann es wohl ernstlich keinem Zweifel unterliegen, daß, wenn überhaupt durch Beimischung verbindungsfähiger Kieselsäure zum Portlandcement eine Verbesserung desselben sich erzielen läßt, diese nur der Bildung eines anfänglich kolloidalen Kalkhydrosilicats zuzuschreiben ist. Während der Uebergangsperiode aus dem kolloidalen in den festen Aggregatzustand, also in den ersten Phasen der Erhärtung, müßte, sofern auch die Annahme des kolloidalen Zustandes des Kalksilicats stichhaltig ist, lediglich der mit der wirksamen Kieselsäure dem Portlandcemente beigemengte Ballast zur Geltung gelangen, somit bei verschiedenen Cementen verschieden, in der Regel jedoch abmindernd auf die Festigkeitsverhältnisse des Mörtels einwirken. Unsere Beobachtungen bestätigen diesen Vorgang vollends; die sieben Tagproben zeigen meist erhebliche, mit dem Ballast wachsende Abnahmen der Festigkeitsverhältnisse der Mörtel gemischter Cemente, während bereits nach 28tägiger Wassererhärtung das Umgekehrte eintritt. (Vergleiche insbesondere die Resultate mit Vigier-Cement.) Auch weisen die unter Anwendung von relativ geringer und reichlicher Wassermenge, ferner kräftiger und geringer Rammarbeit durchgeführten Parallelversuche unabweisbar darauf hin, daß zur thunlichsten Ausnutzung des Wirkungsgrades eines bestimmten Zumischmittels eine möglichst innige Berührung der Theilchen anzustreben und nur jene Wassermenge zu verwenden sei, die zur Bildung des gesättigt-kolloidalen Kalksilicats erforderlich ist. Ueberfättigte Lösungen im Cementmörtel zeigen ähnliche Abminderungen der Festigkeitsverhältnisse wie der Kalkbreimörtel gegenüber dem steifen Mörtel aus Staubhydrat. Die Wassermenge, mehr noch die bei Erzeugung der Probekörper verrichtete Arbeit sind vom größten Einflusse auf das Ergebniß der Festigkeitsproben. Es liegt sehr im Interesse der Uniformität der Versuchsausführung, namentlich der dringend wünschbaren Elimination aller persönlichen Einflüsse, daß bei Erzeugung der Probekörper als Einheit eine bestimmte Arbeit (Kg., M.) festgestellt werde, denn nur auf diesem Wege ist

eine wirklich brauchbare Werthschätzung der hydraulischen Bindemittel zu erreichen. Ohne Einheit in der verrichteten Arbeit, die das specifische Gewicht der Probekörper bestimmt, bleiben nach wie vor die an verschiedenen Stellen erhobenen Zahlen unter sich unvergleichbar. Leider konnte unser neues Verfahren der Erzeugung der Probekörper (s. S. 264) gelegentlich der Untersuchung der Wirkungen der Zumischmittel noch nicht verwerthet werden, so daß den erhobenen Festigkeitszahlen und specifischen Gewichten jene Mängel anhaften, die bei der Handarbeit trotz Controle und Disciplin unvermeidlich sind.

Zur Kalkhydrosilicatbildung im Portlandcemente liefert dieser selbst den nöthigen Kalk. Daß Portlandcemente in der ersten Erhärtungsperiode Kalk absondern, ist heute ziemlich allgemein anerkannt. Immerhin dürften insbesondere zwei Beobachtunngen aus neuester Zeit der Mittheilung werth erscheinen. Wir haben nämlich an großen Betonwürfeln selbst bei sehr scharf gebrannten, künstlichen Portlandcementen (spec. Gewicht 3,1 bis 3,2) blumenkohlartige ca. 6 bis 8 mm hohe Ausblühungen gefunden, die sich als Kalkcarbonate erwiesen. Interessanter, weil die Wirkung granulirter Hohofenschlacke in großem Stile constatirt werden konnte, ist die Wahrnehmung, die am Ausstellungsobjecte des Herrn Rob. Vigier, an der Betonbrücke der schweizerischen Landesausstellung gemacht werden konnte. Vigier verwendete als Bogenmaterial ein Gemenge von Portlandcement und granulirter Hohofenschlacke, während die Widerlager aus einem, aus Flußsand und Geschieben erzeugten Beton ausgeführt wurden. Die Widerlager sind mit der Zeit weißlichgrau geworden; stellenweise zeigen sie beachtenswerthe Ablagerungen von kohlensaurem Kalk, während der Bogen auf der ganzen Länge dunkelgrau geblieben und die tropfsteinartigen Ablagerungen nirgends zu finden waren.

Freier Kalk im Portlandcemente und verbindungsfähige Kieselsäure im Zumischmittel sind die Grundbedingungen und die entscheidenden Momente in der Frage des Mischverfahrens. Wie einerseits die Auswahl des Zumischmittels mit einigen Schwierigkeiten verbunden ist, ist andererseits die Fähigkeit und das Maß der Verbesserung an bestimmte Bedingungen geknüpft und es fällt bei verschiedenen Portlandcementen sehr verschieden aus. Das procentuale Maß der durch die Kalkhydrosilicatbildung bedingten Verbesserung eines normalen Portlandcementes läßt sich indessen in keinem Falle mit Sicherheit zahlengemäß feststellen, da zweifellos neben der chemischen stets auch mechanische Einwirkungen, die nicht ausgeschieden werden können, nebenher laufen.

Tetmajer hält, gestützt auf seine Erfahrungen, die Verbesserung eines Portlandcementes durch Zusatz fremder Körper erreicht, wenn derselbe, bei angenähert gleicher Rammarbeit während der Erzeugung der Probekörper, gegenüber dem unvermischten Cemente keine Abminderung der Zug- und Druckfestigkeit des normengemäßen Mörtels mit und ohne Kalkzusatz zeigt. Die Verbesserung steht jedoch außer Frage, sofern die Sandfestigkeit des gemischten Cementes mit und ohne Kalkzusatz eine nennenswerthe Erhöhung erfahren hat. In zweiter Linie bleibt dann noch zu berücksichtigen, daß durch Zusatz wirksamer Körper gewisse, mit der Sprödigkeit des scharf gesinterten Cementes verbundene Unarten

gemildert, die Tendenz zum Treiben geneigter, hochkalkiger Cemente völlig gehoben, der Cement sicherer und zuverlässiger gemacht werden kann.

Die Wirkung der Zuschläge fremder Körper zu Portlandcement ist mit vier verschiedenen Stoffen an fünf verschiedenen Cementen studirt worden. Die erste und umfassendste Untersuchung ist nach den hier üblichen Methoden, ausgedehnt auf vier bis sechs Altersclassen (zwei Jahre), durchgeführt. Hierauf ist eine Serie von Versuchen mit relativ viel Wasser und geringer Rammarbeit (leichtes Einstampfen) eingeleitet und erledigt worden, da hier wegen des kolossalen Umfanges, die diese Arbeiten an und für sich annahmen, bloß eine Altersclasse, nämlich die vierwöchentliche, als maßgebende Probe in Aussicht genommen werden konnte. Die Wirkung der Zumischmittel erschöpfend darzulegen, hat den Berichterstatter veranlaßt, auch die relative Kiesfestigkeit der gemischten und reinen Portlandcemente festzustellen. Die dritte Versuchsreihe betrifft somit die Betonfestigkeit, welche in zwei Altersclassen, nämlich nach 28- und 210 tägiger Wassererhärtung, erhoben wird.

Die Zumischmittel, welche in nachstehenden Zusammenstellungen mit ZNI, ZNII, ZNIII und ZNIV bezeichnet, sind zumeist zusammengesetzte Körper. So ist

ZNI reine Hohofenschlacke,
ZNII eine Schlackencomposition,
ZNIII und ZNIV repräsentiren Zumischmittel mit besonderer Reichhaltigkeit an verbindungsfähiger Kieselsäure.

An Portlandcementen sind den Versuchen unterworfen:

A Portlandcement v. Rob. Vigier in Luterbach bei Solothurn,
B " v. Vorwohle,
C " v. Dyckerhoff, Langsambinder,
D " v. Dyckerhoff, Mittelbinder,
E " v. Schifferdecker.

Sämmtliche Cemente sind bis auf 2 Proc. Gyps garantirt rein.

Portlandcement von Vorwohle ist staubfein, durch Absiebung des Ballastes am 5000. Sieb, gewonnen. Ebenso gelangt der Cement von Schifferdecker als Handelswaare, ferner abgesiebt zur Verwendung. Die Behandlung der staubfeinen Cemente bezweckt, das Verhalten der Zumischmittel speciell an den wirksamsten Theilchen einer Handelswaare festzustellen.

In erster Linie schien es nöthig, das Verhalten der Hohofenschlacke I zu Kalkhydrat zu studiren, namentlich um die lückenhaften literarischen Producte über diesen Gegenstand zu ergänzen. Einzelne, allerdings tendenziöse Kundgebungen widersprechen den bisherigen Erfahrungen; es fehlt ihnen jede bestimmte, faßbare Grundlage, und sie wären schon deshalb besser unterblieben, weil sie einige im Aufschwunge begriffene, sicherlich berechtigte Industrien verdächtigen und damit schädigen. In fraglichen Kundgebungen wird insbesondere der Kieselsäure der Schlacke, ohne Rücksicht auf die Qualität derselben, die Fähigkeit abgesprochen, sich mit dem Kalke zu verbinden, weil nicht einzusehen sei, weshalb die Kieselsäure die im Feuer geschlossenen Verbindungen aufgeben werde; andererseits wird auf die

Gefahren, die die Schwefelmetalle, insbesondere auch das Schwefelcalcium der Schlacken, mit sich bringen, eindringlichst aufmerksam gemacht.

Diesen Aeußerungen gegenüber ist geltend zu machen, daß bei Auswahl der Schlacke allerdings besondere Vorsicht, Sach- und Fachkenntniß nöthig ist, daß ferner die Schlacke, das Silicat als solches, ohne Vorbereitungen überhaupt nicht verarbeitet werden kann. Zu diesen Vorbereitungen gehört in erster Linie das Granuliren, wodurch eine theilweise Umlagerung der Moleküle, eine partielle Zersetzung der im Feuer gewonnenen Zusammensetzung der Schlacke herbeigeführt wird. Verbindungsfähige Kieselsäure muß ausgeschieden werden, während andererseits ein meist erheblicher Theil des Schwefels oxydirt, resp. in Form von Schwefelwasserstoff entweicht, wie Jedermann weiß, der je mit einem Hohofen in Berührung gelangt, die Granulirung sah oder Schlackenproben genommen hat. Daß durch Granulirung basischer Hohofenschlacken verbindungsfähige Kieselsäure ausgeschieden wird, läßt sich durch vergleichende Festigkeitsproben mit der nämlichen Schlacke in granulirtem und ungranulirtem Zustande hinreichend beweisen. Während nämlich Aetzkalkhydrat auf nicht granulirtes Schlackenmehl nur oberflächliche Einwirkung zeigt, bindet granulirte Schlacke das Kalkhydrat sehr energisch ab und es zeigt der dadurch entstandene Cement Eigenschaften, die den bekannten thonerde- und eisenoxydarmen, kieselsäurereichen französischen Cementen und hydraulischen Kalken (chaux du Teil) völlig analog sind.

Folgende Versuchsreihen erhärten das Gesagte:

Mischungsverhältnisse:	granulirte Schlacke		nicht granulirte Schlacke	
Zugfestigkeit nach	7 Tagen,	28 T.	7 T.	28 T.
57,2 : Staubhydrat 42,8 ZNI : 300 Sand	13,3 kg	23,5 kg	2,5 kg	5,9 kg
66,7 : „ 33,3 ZNI : 300 „	10,3 „	17,0 „	c. 1,4 „	4,7 „

Zweite, ältere Probe mit fertig gelieferter Mischung

Mörtel 1 : 3 zeigte:	für granulirte, Zug	Druck	für nicht granulirte Schlacke: Zug	Druck	
nach 7 Tagen	9,2 kg;	83,4 kg	nicht bestimmbar =	0,0 kg	pro qcm
nach 28 „	15,5 „	124,1 „	7,2 kg	31,5 „	„ „

Wie kräftig der Mörtel 1 : 3 aus Staubhydrat (aus schwach hydraulischem, im Wasser zerfallenden Schwarzkalk) mit der granulirten Hohofenschlacke werden kann, zeigen folgende Versuchsreihen:

Schlackengehalt:	25 Proc.		50 Proc.		75 Proc.		100 Proc.	
Erhärtungsdauer:	7 Tage,	28 T.	7 T.	28 T.	7 T.	28 T.	7 T.	28 T.
Zugfestigkeit	9,5	13,7	10,6	17,9	9,1	18,8	8,8	18,0 kg
Druckfestigkeit	94,5	134,1	116,0	170,0	118,6	170,2	92,6	184,0 „

Die oben sub 2 als ältere Probe angeführte Versuchsreihe ist bis auf 30 Wochen Erhärtungsdauer ausgedehnt worden und ergab:

	Erhärtungsdauer	7 T.	28 T.	84 T.	210 Tage
Normengemäße	Zugfestigkeit	9,2	15,5	20,2	24,2 kg pro qcm
„	Druckfestigkeit	83,4	124,1	186,1	232,1 „ „ „

Auch mit der Veränderlichkeit der Schlackenzusammensetzung ist es nicht so gefährlich, als nach den diversen Berichten anzunehmen wäre. Der Gargang des Hohofens ist der normale und er liefert, weil der Möller sich nicht stark ändern kann, auch fast die gleiche Schlacke. Es liegt zu sehr im Interesse der Eisenhüttenleute, die Schlacken, die bisher keine Verwendung fanden, möglichst lukrativ abzusetzen; in ihrem eigenen Interesse werden sie dafür besorgt sein, daß Schlacken vom Rohgang oder überhitzten Gargang nach wie vor zur Halde gefahren werden.

Folgende Zusammenstellung enthält die chemischen Analysen solcher Schlacken, die granulirt gemahlen mit Staubhydrat in wirksame Verbindung treten:

	Nr. 1	2	3	4	5	6	7
	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.
SiO_2	24,82	26,70	29,17	30,65	31,96	33,60	38,62
Al_2O_3	8,32 }	25,53	9,42	9,18 }	10,11	11,20	16,55
Fe_2O_3	0,82 }		0,37	2,75 }		0,97	0,02
CaO	45,71	44,13	42,25	40,26	50,61	27,02	42,00
MnO	3,93	?	6,54	2,97	2,85	10,98	?
MgO	2,65	Spuren	2,26	7,57	3,88	8,99	0,33
SO_3	6,09	Spuren	4,11	?	?	?	? rc.

Die wirksamsten Schlacken sind Nr. 1 bis 4; Nr. 7 ist die Hohofenschlacke von Wasseralfingen, welche wahrscheinlich in Folge des relativ hohen Thonerdegehaltes weniger gute Resultate geliefert haben soll; immerhin soll dieselbe noch ganz Vorzügliches leisten.

Von vortrefflicher Wirkung ist auch die in der Einleitung mit Nr. II bezeichnete Schlackencomposition; ihre chemische Zusammensetzung ist folgende:

SiO_2	41,47	Proc.
Al_2O_3	24,57	"
Fe_2O_3	1,26	"
CaO	19,75	"
MnO	4,08	"
$CaSO_4$	2,84	"
$CaCO_3$	1,72	"
CaS	1,46	"
$MgSO_4$	0,84	"
H_2O	1,35	"
	99,34	Proc.

Die Kalkproben dieser Composition hier anzuführen, würde lediglich auf eine Wiederholung der vorstehenden Festigkeitszahlen hinauslaufen; wir constatiren deshalb einfach die Thatsache, daß die basischen Schlacken in granulirtem, staubfein gemahlenem Zustande mit Kalkhydrat gemischt einen vorzüglichen, in höheren Altersclassen äußerst festen Cement liefern, der zu allen Bauausführungen an der Luft wie unter Wasser sehr wohl geeignet ist. Die mit dem Schlackencement in der Schweiz, namentlich in Choindez und der Klus bei Balsthal ausgeführten, ziemlich bedeutenden Betonarbeiten haben sich vorzüglich bewährt und es hat der

Beton Festigkeiten erlangt, wie wir solche nur bei entschieden gutem Portland-Cementconcret zu sehen gewohnt waren.

Die Zumischmittel Nr. III und IV sind nicht weiter analysirt worden; dagegen sind die zu den Versuchen herbeigezogenen Portlandcemente einläßlichen Untersuchungen unterworfen worden. Dieselben wurden zunächst, und zwar jede doppelt, analysirt, hierauf in üblicher Weise allgemein untersucht, also die Gewichts-(specif. Gewicht nach Dr. Schumann) und Abbindungsverhältnisse, die Güte der Mahlung ꝛc. ꝛc. festgestellt. Folgende tabellarische Zusammenstellung giebt ein Bild über fragliche Verhältnisse:

P.-Cemente von	Vigier langsam	Vorwohle Mittelb.	Dyckerhoff langsam	Dyckerhoff Mittelb.	Schifferdecker langsam	
	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	
SiO_2	21,68	21,20	19,83	20,79	19,62	
Al_2O_3	6,19	6,70	7,50	8,20	7,97	
Fe_2O_3	2,70	3,35	3,96	3,20	4,25	
CaO	61,11	60,54	62,75	61,60	60,25	
$CaCO_3$	2,09	2,31	1,52	1,70	2,75	
$CaSO_4$	3,01	3,18	2,14	2,31	2,39	
MgO	1,51	1,83	1,89	2,27	1,31	
H_2O + Bit.	2,55	1,48	0,98	0,82	2,43	
Summa	100,84	100,59	100,57	100,89	100,97	
Bezeichnung der Cementgattung	Handels-waare	Staub-fein	Handels-waare	Handels-waare	Handels-waare	Staub-fein
Specif. Gewicht	3,03 (?)	3,03	3,13	3,13	3,05	3,01
Litergewicht, eingerüttelt	2,09	1,66	1,93	1,96	1,89	1,69
Erhärtungsbeginn	c. 4 h 30 m	0 h 24 m	0 h 50 m	0 h 10 m	c. 1 h 50 m	c. 1 h[1])
Bindezeit	c. 8 bis 9 h	0 h 46 m	c. 7 h 00 m	0 h 33 m	c. 20 h 00 m	c. 16 h[1])
Lufttemperatur		13,5 bis 14,5° C.				
	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.
Rückstand am 900. Sieb	2,4	0,0	1,1	2,0	4,6	0,0
am 5000. Sieb	32,3	1,8	12,6	18,5	20,4	0,4

Bei Verarbeitung und Prüfung vorstehend angeführter Portlandcemente sind die gleichen Hülfsmittel, die nämlichen Maschinen und hauptsächlich der gleiche Normalsand verwendet worden. Der zu den Cementkalk-Proben benutzte Kalkbrei wurde durch Löschen von Aetzkalk mit circa der dreifachen Gewichtsmenge kalten Wassers und nachherigem Einsumpfen in Wannen mit absaugenden Wandungen gewonnen. Bei der Verwendung hatte der Brei die folgenden Eigenschaften:

Consistenz: 27,9 bis 29 mm bei 4 kg Belastung des 6 cm-Cylinders unseres Consistenzmessers.

Glührest: 33,7 bis 35,4 Proc.; specif. Gewicht: 1,34 bis 1,36. Ferner: 451,6 bis 459,6 g feste Substanz pro Liter Kalkbrei.

---

[1]) h gleich Stunde, m gleich Minute.

Die Erzeugung der Probekörper der Zugfestigkeit besorgte für die ganze Serie ausnahmslos der eine, diejenige der Druckfestigkeit der zweite der in der Anstalt bediensteten Arbeiter.

Resultate der Festigkeitsproben.

In folgender Zusammenstellung bezeichnet:

γz resp. γd das specif. Gewicht der Zug- resp. der Druckkörper.

βz „ βd die Zug- beziehungsweise die Druckfestigkeit in Kilogrammen pro Quadratcentimeter.

Sämmtliche Mischungsverhältnisse sind in Gewichtseinheiten ausgedrückt.

A. Portlandcement Vigier.

7 Tage	28 Tage	84 Tage
γz, βz; γd, βd.	γz, βz; γd, βd.	γz, βz; γd, βd.
100 Cement: 300 Sand; 9½ Proc. Wasser.		
— 13,5; — 152,1	c. 2,20, 17,8; c. 2,25, 196,0	2,22, 26,3, 2,24, 243,5.
85 Cement: 15 ZNI: 300 Sand; 9½ Proc. Wasser.		
— 13,3; — 151,4	— 22,5; — 198,6	2,20, 30,2; 2,26, 242,8.
85 Cement: 15 ZNII: 300 Sand; 9½ Proc. Wasser.		
2,24, 17,6; 2,27, 169,2	2,24, 27,9; 2,32, 221,5	2,26, 40,6; 2,28, 281,6.
100 Cement: — : 100 Kalkbr.: 600 Sand.		
2,17, 5,3: 2,25, 82,4	2,18, 8,5; 2,26, 111,5	2,19, 11,5: 2,26, 135,7.
85 Cement: 15 ZNII: 100 Kalkbr.: 600 Sand.		
2,17, 5,1; 2,28, 79,0	2,20, 11,9; 2,29, 146,8	2,20, 16,2; 2,27, 176,5.
75 Cement: 25 ZNII: 100 Kalkbr.: 600 Sand.		
2,16, 4,7; 2,26, 68,0	2,19, 10,9; 2,28, 161,5	2,21, 19,4; 2,28, 194,2.
Controleprobe mit unvermischtem Cement.		
100 Cement: 300 Sand; Wasser		
2,15, 14,8; 2,29, 161,5	2,19, 21,8; 2,27, 201,0	2,19, 26,9; 2,29, 241,3.

B. Portlandcement Vorwohle.

7 Tage	28 Tage	84 Tage
100 Cement: 300 Sand; 9 Proc. Wasser.		
2,27, 35,8; 2,38, 456,2	2,28, 38,8; 2,38, 563,6	2,30, 41,7; 2,36, 570,0.
85 Cement: 15 ZNII: 300 Sand; 9½ Proc. Wasser.		
2,30, 37,2; 2,37, 462,2	2,29, 54,8; 2,38, 688,9	2,31, 52,6; 2,35, 668,8.
85 Cement: 15 ZNIII: 300 Sand; 9 Proc. Wasser.		
2,26, 32,1; 2,39, 415,0	2,28, 43,1; 2,41, 652,7	2,30, 48,9; 2,41, 816,2.
100 Cement: — : 100 Kalkbr.: 600 Sand.		
2,24, 16,6; 2,33, 212,5	2,24, 20,3; 2,30, 216,3	2,25, 25,6; 2,35, 269,7.
85 Cement: 15 ZNII; 100 Kalkbr.: 600 Sand.		
2,23, 11,8; 2,30, 142,7	2,24, 23,4; 2,33, 241,9	2,24, 25,7; 2,39, 366,7.
85 Cement: 15 ZNIII; 100 Kalkbr.: 600 Sand.		
2,21, 14,8; 2,36, 155,7	2,24, 25,6; 2,36, 273,6	2,25, 32,3; 2,36, 307,5.

C. Portlandcement Dyckerhoff.

(Langsambinder.)

7 Tage	28 Tage	84 Tage
100 Cement: 300 Sand; 8½ Proc. Wasser.		
2,24, **22,5**; 2,33, **240,8**	2,24, **30,4**; 2,33, **319,5**	2,24, **38,1**; 2,35, **421,5**.
85 Cement: 15 ZNII: 300 Sand; 9 Proc. Wasser.		
2,27, **25,5**; 2,34, **270,1**	2,24, **39,8**; 2,33, **431,2**	2,27, **53,4**; 2,34, **499,5**.
85 Cement: 15 ZNIV: 300 Sand, 11½ Proc. Wasser.		
2,29, **25,2**; 2,33, **216,0**	2,29, **40,4**; 2,37, **395,5**	2,29, **52,2**; 2,35, **502,5**.
100 Cement: — : 100 Kalkbr.: 600 Sand.		
2,17, **10,7**; 2,28, **101,5**	2,21, **13,2**; 2,31, **135,0**	
85 Cement: 15 ZNII: 100 Kalkbr.: 600 Sand.		
2,20, **9,4**; 2,35, **133,2**	2,22, **19,5**; 2,36, **205,0**	2,20, **27,4**; 2,34, **269,5**.
85 Cement: 15 ZNIV: 100 Kalkbr.: 600 Sand.		
2,18, **7,5**; 2,35, **103,9**	2,19, **17,0**; 2,37, **194,0**	2,24, **27,9**; 2,35, **237,2**.

D. Portlandcement Dyckerhoff.

(Mittelbinder.)

100 Cement: 300 Sand; 9½ Proc. Wasser.

7 Tag-Proben sind nicht ausgeführt worden.

28 Tage	84 Tage
2,23, **23,7**; 2,32, **241,4**	2,25, **34,4**; 2,32, **293,0**
85 Cement: 15 ZNII: 300 Sand; 9½ Proc. Wasser.	
2,22, **32,4**; 2,35, **352,5**	2,25, **49,5**; 2,34, **458,0**
85 Cement: 15 ZNIII: 300 Sand; 10 Proc. Wasser.	
2,23, **34,1**; 2,38, **393,9**	2,25, **45,4**; 2,37, **509,2**

E. Portlandcement Schifferdecker.

28 Tag-Probe, Handelswaare.	28 Tag-Probe, staubfeiner Cement.
100 Cement: 300 Sand; 8 Proc. Wasser.	100 Cement: 300 Sand; 9 Proc. Wasser.
2,26, **22,6**; 2,34, **304,5**	2,29, **41,3**; 2,37, **460,0**
85 Cement: 15 ZNIV: 300 Sand; 10 Proc. Wasser.	85 Cement: 15 ZNIV: 300 Sand; 10 Proc. Wasser.
2,26 **41,6**; 2,39, **476,0**	2,31 **53,5**; 2,38, **619,0**
100 Cement: — : 100 Kalkbr.: 600 Sand.	100 Cement: — : 100 Kalkbr.: 600 Sand.
2,19, **14,4**; 2,31, **137,5**	2,22, **21,3**; 2,33, **216,5**
85 Cement: 15 ZNIV: 100 Kalkbr.: 600 Sand.	85 Cement 15 ZNIV: 100 Kalkbr.: 600 Sand.
2,19, **20,3**; 2,33, **182,5**	2,19, **26,7**; 2,35, **269,3**

2. Versuchsreihe.

Erzeugung der Probekörper bei reichlicher Wassermenge, geringer Rammarbeit; 28tägige Wassererhärtung.

1. Portlandcement Vorwohle (Staubcement).

Mischungsverhältnisse	Wassermenge Proc.	Zugfestigkeit	kg	Druckfestigkeit	kg
100 Cem.: —: 300 Sand	10	γz = 2,25	βz = 33,2	γd = 2,30	βd = 396,6
85 Cem.: 15 ZNII: 300 Sand	10	= 2,27	= 34,2	= 2,31	= 396,6
85 Cem.: 15 ZNIII: 300 Sand	11	= 2,37	= 42,5	= 2,30	= 434,7
100 Cem.: —: 100 Kalkbr.: 600 Sand	—	= 2,30	= 19,7	= 2,24	= 153,8
85 Cem.: 15 ZNIII: 100 Kalkbr.: 600 Sand	—	= 2,30	= 22,3	= 2,25	— 171,3

2. Portlandcement Dyckerhoff (Langsambinder).

100 Cem.: —: 100 Kalkbr.: 600 Sand	—	γz = 2,28	βz = 7,8	γd = 2,20	βd = 70,5
85 Cem.: 15 ZNII: 100 Kalkbr.: 600 Sand	—	= 2,28	= 7,0	= 2,20	= 78,1
85 Cem.: 15 ZNIV: 100 Kalkbr.: 600 Sand	—	= 2,285	= 13,3	= 2,20	= 103,2

3. Portlandcement Dyckerhoff (Mittelbinder).

100 Cem.: —: 300 Sand	10	γz = 2,29	βz = 21,5	γd = 2,27	βd = 157,0
85 Cem.: 15 ZNII: 300 Sand	10,5	= 2,29	= 30,4	= 2,27	= 244,7
85 Cem.: 15 ZNIII: 300 Sand	11,5	= 2,29	= 32,3	= 2,28	= 284,3

4. Portlandcement Schifferdecker (Staubcement).

Mischungsverhältnisse	Wassermenge Proc.	Zugfestigkeit	kg	Druckfestigkeit	kg
100 Cem.: —: 300 Sand	10	γz = 2,37	βz = 36,0	γd = 2,32	βd = 288,7
85 Cem.: 15 ZNIII: 300 Sand	12	= 2,355	= 37,7	= 2,295	= 391,6
100 Cem.: —: 100 Kalkbr: 600 Sand	—	= 2,29	= 14,5	= 2,255	= 138,3
	—	= 2,275	= 18,6	= 2,23	= 172,0

3. Versuchsreihe.

Kies- (Beton-) Festigkeit gemischter und reiner Portlandcemente.

Die Versuche sind ausgeführt an würfelförmigen Körpern mit 16 cm Kan-
nlänge. Der zur Betonage verwendete quarzreiche, scharfkörnige Betonsand
assirt ein Sieb mit 25 Maschen per Quadratcentimeter und bleibt auf einem
lchen mit 64 Maschen liegen; fraglicher Sand hat

ein mittleres specifisches Gewicht . . $\gamma =$ 2,66,
ein Volumgewicht, eingerüttelt . . . $\delta^2 =$ 1,55 kg per Liter,
1 kg dicht gelagerter Sand enthält . $V =$ 27,5 ccm Hohlr.
das Schwindmaß des Sandes betrug . 5 bis 6 Proc.

Der Schlägelstein wurde auf ein Drahtgitter mit ca. 2,4 cm Maschenweite
eworfen und es sind die kleinen Stücke mittelst eines Drahtsiebes mit ca. 1,8 cm
Maschenweite entfernt worden.

1 hl des Schlägelstein wog 140 kg
100 kg desselben enthalten ca. 31 l Hohlräume.

Das hier verwendete Staubhydrat ist durch Löschen eines mit schwach-
ydraulischem Schwarzkalk (der jedoch im Wasser zerfällt) gemischten Luftkalkes
gewonnen und gelangte nach ca. 3/4 jähriger Lagerung in der Anstalt zur Ver-
arbeitung. Wahrscheinlich sind diesem, sowie dem Umstande, daß die zu den
Betonproben verarbeiteten Reste der angeschafften Zumischmittel ebenfalls ca. 4 bis 5
Monate in den Räumlichkeiten der Anstalt offen lagerten, jene Widersprüche zu-
zuschreiben, die die Resultate der Betonproben verglichen unter sich sowie mit den
Ergebnissen der Mörtelproben zeigen.

Jeder Probe sind vier Würfel unterworfen und das Mittel der drei besten
als maßgebender Durchschnitt berechnet worden. Die Erhärtung der Würfel
erfolgte 2 Tage an der Luft, 26 Tage unter Wasser. Weitere Proben für eine
30 wöchentliche Wassererhärtung stehen derzeit noch aus.

A. Portlandcement Vigier.

Mischungsverhältnisse in Gew.-Einheiten	Wassermenge in Gew.-Proc. der Mörtelsubst.	Spec. Gewicht im Mittel	Druckfestigkeit kg pr. qcm
100 Cement : — : 200 Sand : 500 Kies	11 Proc.	2,56	**321,2 kg**
85 Cem. : 15 ZNIII : 200 Sand : 500 Kies	11 „	2,54	**348,6 „**
50 Cem. : — : 50 Staubh. : 250 Sand : 600 Kies	13 „	2,48	**135,0 „**
40 Cem. : 10 ZNII : 50 Staubh. : 250 Sand : 600 Kies	13 „	2,45	**167,6 „**
40 Cem. : 10 ZNIII : 50 Staubh. : 250 Sand : 600 Kies	13 „	2,46	**154,0 „**

C. Portlandcement Dyckerhoff (Langsambinder).

50 Cem.: — : 50 Staubh.: 250 Sand: 600 Kies	14 Proc.	2,48	164,0 kg
40 Cem.: 10 ZNII: 50 Staubh.: 250 Sand: 600 Kies	13 „	2,465	185,5 „
40 Cem.: 10 ZNIII: 50 Staubh.: 250 Sand: 600 Kies	13 „	2,47	177,2 „

D. Portlandcement Dyckerhoff (Mittelbinder).

100 Cem.: — : 200 Sand: 500 Kies	11 Proc.	2,55	330,3 kg
85 Cem.: 15 ZNII: 200 Sand: 500 Kies	11 „	2,58	403,1 „
50 Cem.: — : 50 Staubh.: 250 Sand: 600 Kies	13 „	2,50	150,1 „
40 Cem.: 10 ZNII: 50 Staubh.: 250 Sand: 600 Kies	14 „	2,50	164,5 „
40 Cem.: 10 ZNIII: 50 Staubh.: 250 Sand: 600 Kies	14 „	2,505	182,8 „

Vorstehende Resultate bestätigen die Möglichkeit der Verbesserung normal zusammengesetzter Portlandcemente; sie scheinen darauf hinzuweisen, daß weder der Grad der Sinterung, die Feinheit der Mahlung, noch die Bindezeit die Möglichkeit der Verbesserung beeinflußt. Durch Zumischung wirksamer Zumischmittel wird die Zug- und Druckfestigkeit anscheinend gleichartig beeinflußt. Eine allfällige Aenderung der Verhältnisse von Zug zu Druck ist nicht zu gewinnen, so lange nicht das Princip der constanten Arbeit bei Erzeugung der Probekörper allgemein angenommen und durchgeführt sein wird. Alle diesbezüglichen Kundgebungen müssen derzeit als verfrüht und von fraglichem Werthe bezeichnet werden. Die gewonnenen Resultate bestätigen ferner die Zulässigkeit der normengemäßen Sandproben für gemischte Portlandcemente, an welche mindestens jene Forderungen zu stellen sind, die normale Portlandcemente zu erfüllen haben.

Aus dem bisher Erörterten geht daher hervor, daß die Frage der Zumischmittel seit ihrem ersten Auftauchen im Jahre 1882 eine nicht unwesentliche Verschiebung ihrer Basis erlitten. Ursprünglich handelte es sich um einen mehr oder weniger hohen Zusatz von gewöhnlicher fein gemahlener Hohofenschlacke, einem geringwerthigen Material, eine einfache und billige Volumenvermehrung, welche zu dem viel höheren Preise des wirklichen Cementes an den Käufer gebracht wurde.

Da die anfängliche, dem Schlackenmehlzusatz nachgerühmte „Verbesserung" des Portlandcementes sich nicht bewahrheitet hat, sondern es durch zahlreiche Versuche erwiesen ist, daß z. B. Quarzsand dieselben Dienste thut wie Schlackenmehl, sind in die Rolle des Schlackenmehls jetzt „Schlackencompositionen"

eingerückt worden, granulirte Hohofenschlacke mit Zusatz anderer Stoffe, welche vorläufig das Geheimniß des Herrn Dr. Michaëlis sind, und mit welchen auch Prof. Tetmajer seine Versuche angestellt hat.

Eine Frage ist nun, ob diese Compositionen von der Art sind, daß sie eine Benutzung in der Praxis zulassen, und in dieser Hinsicht hat auch der Schweizerische Cementfabrikantenverein einen Beschluß gefaßt, dahin gehend, „daß Herr Prof. Tetmajer zu ersuchen sei, seine Versuche mit Zumischungen fortzusetzen und festzustellen, ob sich das Mischverfahren zur Verbesserung der Producte der einheimischen Kalk- und Cementindustrie ökonomisch verwerthen lasse“[1]).

Einen Beitrag zur Klärung der vorliegenden Frage haben die Herren R. und W. Fresenius geliefert, welcher von großem Interesse ist, indem derselbe eine Basis schafft, auf der eine vom Standpunkte der Consumenten unerläßlich erscheinende Scheidung zwischen den Fabriken, welche ungemischten Portlandcement liefern, und solchen, welche dieses Fabrikat mit Zumischungen versehen abgeben, sich vollziehen kann[2]). Den Standpunkt, den die Herren R. und W. Fresenius bezüglich der ganzen Cementmischfrage einnehmen, ist demnach folgender: „Darüber sind wohl keinerlei Meinungsverschiedenheiten vorhanden, daß der Name Portlandcement eigentlich nur das bis zur Mehlfeinheit zerkleinerte Product bezeichnet, welches durch Brennen einer im Wesentlichen aus Kalk und Thon in bestimmten Verhältnissen bestehenden innigen Mischung bis zur Sinterung erhalten wird.

Wenn man dem auf diese Weise hergestellten Portlandcemente andere Stoffe zumischt, so ist es nach unserer Ansicht — ganz abgesehen von der Wirkung, welche das Zumischmittel ausübt — nicht statthaft, die entstandene Mischung ebenfalls schlechthin mit dem Namen Portlandcement zu belegen[3]).

Der Grund, warum eine solche fremde Substanz überhaupt zugesetzt wird, kann ein zweifacher sein. Entweder ist der fremde Körper einfach ein billiges Vermehrungsmittel ohne Einfluß auf die Festigkeit ꝛc., welches dann also bewirkt, daß die Mischung in weniger hohem Maße die schätzbaren Eigenschaften des Cementes besitzt als der reine Cement, oder der zugemischte Körper ist von solcher Art, daß durch denselben eine Erhöhung der Festigkeit nach dem Erhärten bewirkt, also der Cement verbessert wird.

Im ersten Falle liegt unzweifelhaft eine Verfälschung vor, und man kann es nur als berechtigt bezeichnen, wenn die nicht mischenden Fabrikanten verlangen, daß ein solches Gemisch entweder überhaupt nicht, oder doch jedenfalls nicht unter dem Namen Portlandcement verkauft werde.

Auch im zweiten Falle, in welchem der zugesetzte Körper eine Verbesserung bewirkt, müssen wir uns vom unparteiischen Standpunkte aus entschieden dagegen aussprechen, daß die wesentliche Mengen fremder Körper enthaltende Mischung Portlandcement genannt wird.

---

1) Deutsche Bauzeitung 1885, Nr. 1.

2) Fresenius, Zeitschrift f. analyt. Chemie, 24, 66.

3) Wir sehen hier von Zusätzen kleiner Mengen (bis etwa 2 Proc.) fremder Körper, wie z. B. Gyps, ab, über deren Zulässigkeit (resp. Nothwendigkeit in gewissen Fällen) keine Zweifel bestehen.

Die betreffende Mischung wird ja ein genau ebenso berechtigtes hydraulisches Bindemittel sein, wie der Portlandcement; sie ist aber deswegen doch noch nicht mit demselben identisch, so wenig wie es die ja auch viel gebrauchten Roman- oder Puzzolancemente sind.

Es liegt überdies im Interesse aller Parteien, eine unterscheidende Nomenclatur einzuführen.

Ist nämlich das entstandene Gemisch wirklich besser als Portlandcement, so muß doch dem Verkäufer daran gelegen sein, daß seine gute Waare nicht mit dem schlechteren unvermischten Portlandcement verwechselt werde, und er muß sie dagegen durch einen besonderen Namen schützen.

Von Seiten der Fabrikanten, welche nicht mischen, wird geltend gemacht, daß die Verbesserung noch keineswegs bewiesen sei (auf diesen Punkt werden wir gleich zurückkommen) und daß, auch selbst wenn es Körper giebt, die beim Zumischen den Cement verbessern, diese nicht allgemein bekannt sind, sondern geheim gehalten werden. Man ist deshalb gar nicht in der Lage, etwa nur die Zumischung der verbessernden Körper zu erlauben, die der anderen indifferenten zu verbieten. Es läge somit die Gefahr vor, daß, wenn man für die mit einem Verbesserungsmittel gemischten Cemente den Namen Portlandcement beibehalten wollte, keine Grenze gezogen werden könnte zwischen den Mischungen, welchen dieser Name noch zukäme und den wirklich verfälschten Cementen, die nicht als Portlandcement bezeichnet werden dürften. Es würde dann der ganze Begriff Portlandcement so sehr verändert werden, daß sich gar nichts Bestimmtes mehr darunter verstehen ließe. Deshalb verlangen die nicht mischenden Fabrikanten den Namen Portlandcement für ihr Product allein.

Ob es überhaupt praktisch verwendbare Substanzen giebt, welche beim Zumischen eine Verbesserung des Cementes bewirken, und welche dies eventuell sind, darüber sind bekanntlich die Meinungen noch im höchsten Maße getheilt. Diese Frage ist eine rein mechanische und kann auch nur durch mechanische Prüfungen entschieden werden. Sie liegt uns persönlich deshalb gänzlich fern.

Aus dem Grunde aber, daß zur Zeit diese Frage noch nicht definitiv entschieden ist, hat nach unserer Meinung auch das Publicum das Recht zu verlangen, daß es wisse, was es kauft. Wer davon überzeugt ist, daß ein vermischter Cement besser ist, muß auch in der Lage sein, dieses Product zu kaufen; und wer durch die bis jetzt vorliegenden Versuche diese Ueberzeugung noch nicht gewinnen kann, der hat das Recht zu verlangen, daß er, wenn er ihn fordert, auch wirklich Portlandcement, dessen Wirkungen bekannt sind, bekommt und nicht eine Mischung, deren Eigenschaften ihm unbekannt sind.

Schließlich muß man auch vom Standpunkte der Wissenschaft eine verschiedene Benennung für wünschenswerth halten; denn es kann ja doch nur dann ein richtiges, auf praktische Erfahrung begründetes Urtheil über den Werth des vermischten (eventuell verbesserten) Cementes gegenüber dem unvermischten gewonnen werden, wenn die beiden verschiedenen Materialien mit Bewußtsein zu Bauzwecken angewandt werden."

Zu S. 348. Um Cementfliesen u. dergl. mit farbiger Deckschicht herzustellen, vermengt man nach G. Hemmerling in Düsseldorf (D. R.-P. Nr. 25 243 vom 22. Mai 1883) Hohofenschlackenmehl (etwa 70 Proc.) möglichst innig mit Oxyd- oder Mineralfarben (und zwar mit etwa 10 Proc.) durch Mahlgänge. Die Farben werden vor ihrer Vermischung mit dem Hohofenschlackenmehl mit Wasserglas zu etwa 1/3 der Farbmasse gemischt (versetzt) und nach eingetretener Erhärtung pulverisirt. Dem trockenen Gemisch von Schlackenmehl und Farben wird Wasserglas so lange zugesetzt, bis sich die Masse als Teig verarbeiten läßt, und erfolgt die gleichmäßige Vertheilung des Wasserglases und Durchknetung des Materials durch Walzengänge.

Das knetbare Material wird dann in Formen gefüllt, 1 bis 2 cm stark; die Form wird darauf mit einer Mischung von Cement mit Schlackensand oder bei größeren Formen mit einer Mischung von Cement mit Kieselsand (z. B. 30 Proc. Cement und 70 Proc. Schlackenmehl) gefüllt und einer Pressung (hydraulischer Druck, bei Ornamenten sowie größeren Formen durch Einstampfen) ausgesetzt.

Die direct aus farbiger Decke und gewöhnlicher Grundschicht zusammengesetzten Massen binden nach erfolgter Pressung bald ab (in einigen Stunden) und werden, nachdem sie aus den Formen herausgenommen sind, in Wasserglas getaucht, wodurch eine möglichst vollständige Verkieselung herbeigeführt wird. Zur Verhütung von Ausschlag werden die also getauchten Fabrikate vier Wochen beständig durch Wasser ausgelaugt, bezw. berieselt. Nach erfolgter Trocknung der ausgelaugten Stücke werden dieselben mit Wasserglas nochmals getränkt, um jedes Ausschlagen zu verhüten.

Zu S. 365. Löslichkeit von Gyps in Lösungen von Chlornatrium, Chlorcalcium und Salzsäure. Versuche, im Auftrage von Prof. Lunge von A. Steiner angestellt, führten zu folgenden Resultaten[1]:

Löslichkeit von Gyps in Chlornatriumlösungen:

Bei gewöhnlicher Temperatur			Bei Siedhitze		
Temperatur	Gehalt der Lösung an NaCl Proc.	Gehalt an $CaSO_4 + 2H_2O$ in 100 ccm g	Temperatur	Gehalt der Lösung an NaCl Proc.	Gehalt an $CaSO_4 + 2H_2O$ in 100 ccm g
21,5°	3,53	0,6468	101°	3,53	0,6186
19,5°	7,35	0,8130	102,5°	14,18	0,7902
21,0°	11,12	0,9125	103°	17,46	0,7976
18,0°	14,18	0,9280			
17,5°	17,46	0,9320			

[1] Chemiker-Ztg. 1885, Nr. 26, S. 469.

Löslichkeit von Gyps in Chlorcalciumlösungen:

Temperatur	Bei gewöhnlicher Temperatur: Gehalt der Lösung an $CaCl_2$ Proc.	Bei gewöhnlicher Temperatur: Gehalt an $CaSO_4+2H_2O$ in 100 ccm g	Temperatur	Bei Siedhitze: Gehalt der Lösung an $CaCl_2$ Proc.	Bei Siedhitze: Gehalt an $CaSO_4+2H_2O$ in 100 ccm g
23°	3,54	0,1549	101°	3,54	0,1733
24°	6,94	0,1345	102,5°	10,36	0,1804
25°	10,36	0,1121	103,5°	16,91	0,1646
25°	15,90	0,0929			
25°	16,91	0,0890			

Löslichkeit von Gyps in verdünnter Salzsäure:

Temperatur	Bei gewöhnlicher Temperatur: Gehalt der Lösung an HCl Proc.	Bei gewöhnlicher Temperatur: Gehalt an $CaSO_4+2H_2O$ in 100 ccm g	Temperatur	Bei Siedhitze: Gehalt der Lösung an HCl Proc.	Bei Siedhitze: Gehalt an $CaSO_4+2H_2O$ in 100 ccm g
25°	0,77	0,8101	101°	0,77	1,5795
25°	1,56	1,1157	102°	3,06	4,0193
25°	3,06	1,5985	103°	6,12	5,9318
25°	4,70	1,9403			
25°	6,12	2,0915			

Sachregister.

A.

B.

K.

L.

T.

U.

V.

W.

Z.

